

علم الأحياء الدقيقة

دكتور

عمره محمد السيد النحال

بكالوريوس وماجستير في علوم الأغذية
جامعة عين شمس - القاهرة
دكتوراه في الأحياء الدقيقة
جامعة كاليفورنيا - ديفز
أستاذ مشارك بجامعة الملك فيصل بالامام
بالمملكة العربية السعودية



١٩٨٧

توزيع دار المعارف بالقاهرة

علم الأحياء الدقيقة

دكتور

محرمه محمد محمد السَّيِّد التَّحَال

بكالوريوس وماجستير في علوم الأغذية
جامعة عين شمس - القاهرة
دكتوراه في الأحياء الدقيقة
جامعة كاليفورنيا - ديفيز
أستاذ مشارك بجامعة الملك فيصل بالأمم
بالمملكة العربية السعودية

حقوق الطبع والنشر محفوظة للمؤلف

تليفون : ٣٦٣٢٨٧١
القاهرة ٨٤٩١١٠



راکھے اُعتابے :

رَسُولُ اللَّهِ صَلَّى اللَّهُ عَلَيْهِ وَسَلَّمَ

معالم البشر

تقديم الكتاب

بسم الله الذي علم الانسان ما لم يعلم .

أتقدم بهذا الكتاب للزملاء والدارسين والمهتمين بعلوم الأحياء الدقيقة ، وأقدمه للمكتبة العربية آملا أن أضيف اليها جديدا مما توصلت اليه العلوم والأبحاث في تلك المجالات ...

وهذا الكتاب - بفصوله العشرين - قسم الى سبعة أبواب هي :

(١) علم الأحياء الدقيقة وتطوره وطرق دراسته وأهميته .

(٢) الأحياء الدقيقة حقيقية النواة .

(٣) الأحياء الدقيقة بدائية النواة .

(٤) نمو وتكاثر الأحياء الدقيقة الخلوية .

(٥) علم الفيروسات العام .

(٦) الفيروسات البكتيرية .

(٧) وراثة الأحياء الدقيقة وبيولوجيتها الجزيئية .

وقد قمت باعداد حصيلة تجارب في التدريس والأبحاث في هذه المجالات لأكثر من عقدين من الزمان ، وقد استغرقت أكثر من أربعة أعوام من العمل المكثف لكتابة هذا الكتاب . ولقد كان لتشجيع الكثير من اخواني أعضاء هيئة التدريس وأبنائي الطلاب أكبر الأثر في الاستمرار حتى النهاية ... ولا أزعم أنني قد حققت الغاية وبلغت الكمال ، فالكمال لله وحده ، ولو أنني كتبت كل ما أردت من عرض شامل للأبحاث العديدة التي تنشر يوميا ، لما قدر لهذا الكتاب أن يكون أمام القارئ الآن .

ولقد تعتمد عدم الكتابة في موضوع التمثيل الغذائي بجانبه البناء والهدم على أمل أن أكتب كتابا آخر يعالج هذا الموضوع .

نظرا لحداثة عهد هذا العلم ، فقد واجهت بعض الصعاب
في تعريب بعض المصطلحات الفنية . ولقد راجعت العديد من الكتب
العربية للاستفادة من خبراتها واختيار أكثر الاصطلاحات العربية شيوعا
قدر الامكان . ولقد استفدت كثيرا من سبقوني في هذا المجال ، ولكن
بقى على ايجاد بعض المصطلحات العربية الجديدة للتعبير عن ما
يقابلها بالانجليزية ، ولذلك فقد استعملت الاصطلاح الانجليزي
بجوار الاصطلاح .

وعلى قدر علمي بذلت جهدي في تبسيط المعلومات باستخدام أسهل
التعبيرات مع تزويد الكتاب بالأشكال التوضيحية كلما كان ذلك ممكنا .
ورغم أن هذا الكتاب قد أخذ مني أكثر من أربعة أعوام من العمل
الدؤوب فإن معظم مادته العلمية قد جمعت من عدد كبير من الكتب
والمطبوعات العربية والانجليزية . وقد حرصت على وضع قائمة بالمراجع
التي استخدمتها أثناء اعداد هذا الكتاب في نهايته - وقد رأيت جمع
هذه المادة العلمية على هذه الصورة بعد سنوات عديدة من تدريس
مقرر الأحياء الدقيقة بجامعة الملك فيصل بالاحساء . وقد شمل الكتاب
كثيرا من المعلومات التي لا اتطرق اليها في محاضراتي ولكني جمعتها
للإجابة على تساؤلات كثير من طلابي التي وردت الي بين الحين
والآخر .

وأملئ أن أنال بهذا الكتاب رضى الله ثم رضى القاري ، وذلك هو
حسبي على كل ما بذلت من جهد . آمل أن يكون هذا الكتاب مفيدا ونافعيا
لدارسين والباحثين في هذا المجال . على أنني أتلمس العذر عن هنات
بغير قصد أو أخطاء بغير تصويب .

ولا يسعنى الا أن اتوجه بالشكر لله سبحانه وتعالى على توفيقه
ثم للمستولين فى جامعة الملك فيصل وعلى رأسهم معالى مدير الجامعة
على ما قدموه لى من تسهيلات لانجاز هذا الكتاب . كما لا يفوتنى أن
أتوجه بالشكر للاستاذ الدكتور حسين محمد العروسى العميد الأسبق
لكلية العلوم الزراعية والأغذية على مراجعته للأبواب الثلاثة الأولى،
وكذلك أتوجه بالشكر للأستاذ الدكتور السيد أحمد سلامه والأستاذ
الدكتور محمد عبد الحميد شلى على مراجعتهم للأبواب الثلاثة
الأخيرة من هذا الكتاب . كما اننى أوجه شكرا خاصا للأستاذ سمير
الطوبجى صاحب مكتبة ومطبعة الطوبجى بالقاهرة ومعاونوه على ما بذلوه
من جهد مخلص فى طباعة هذا الكتاب . وهناك العديد ممن قدموا لى
النصح المشورة والمساعدة والتشجيع وقت هبوط الهم أثناء اعداد هذا
الكتاب والذي لا يمكن حصرهم فى هذا المجال فلهم جميعا منى خالص
الشكر والتقدير .

والله وحده الكمال وهو ولى التوفيق {

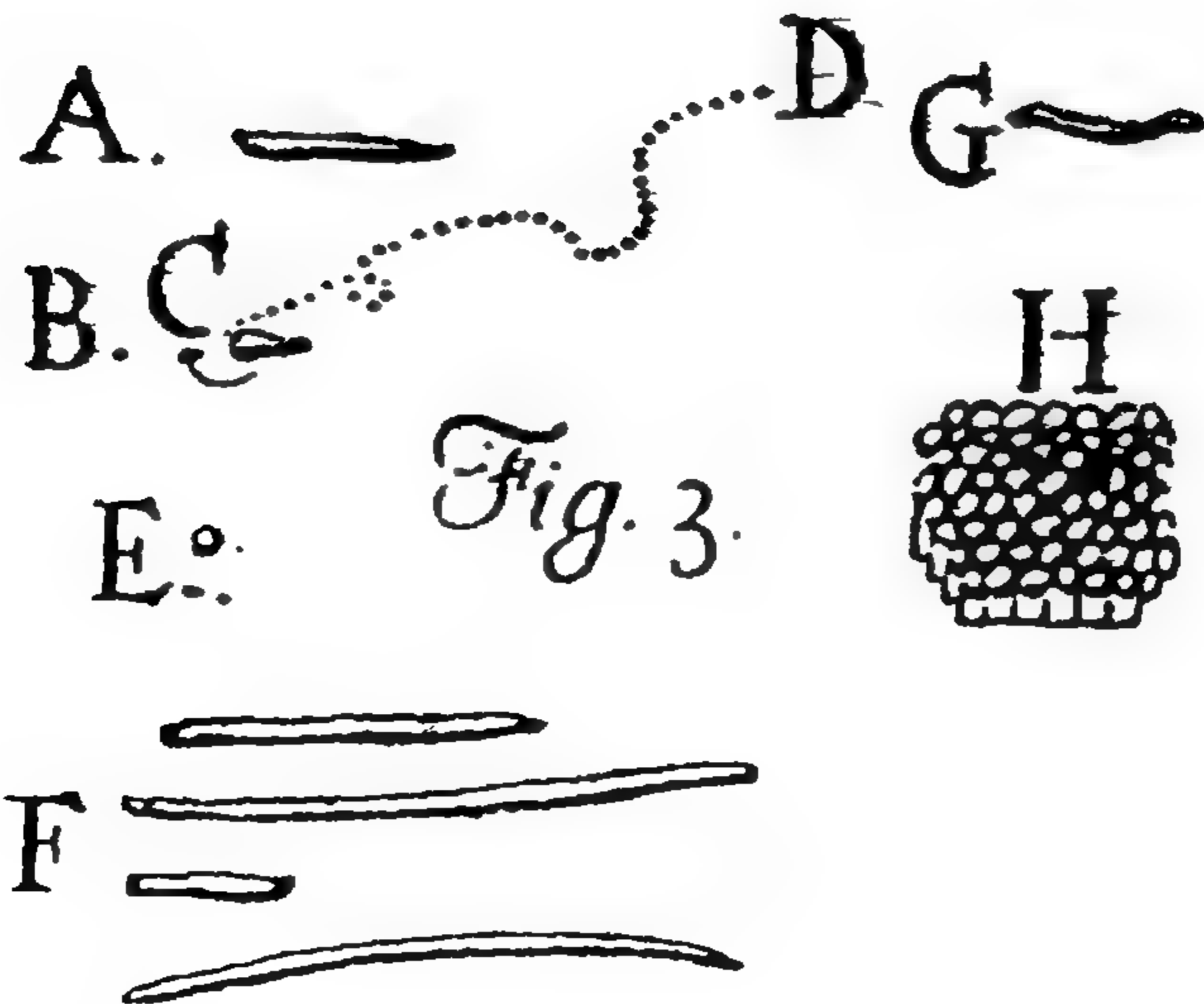
المؤلف

د . حمزة النخسالى

البَابُ الأولُ

تطور علم الأحياء الدقيقة وأهميته وطرق دراسته

- الفصل الأول : علم الأحياء الدقيقة وتطوره .
الفصل الثاني : أهمية دراسة الأحياء الدقيقة .
الفصل الثالث : طرق دراسة الأحياء الدقيقة .



الفصل الأول

علم الأحياء الدقيقة وتطوره

علم الأحياء الدقيقة (الميكروبيولوجيا Microbiology) هو العلم الذى يختص بدراسة الكائنات الحية (الدقيقة) التى بلغت من الصغر حدا لا يمكن معه رؤيتها بوضوح بالعين المجردة . ولما كانت العين البشرية لا تستطيع أن ترى الأشياء التى قطرها ٠٠ مليمتر أو أصغر ، ولا تستطيع تمييز تفاصيل الأشياء التى قطرها ١ مليمتر ، فإنه يمكن بصفة عامة اعتبار الكائنات الحية الدقيقة هى الكائنات التى لها قطر مقداره ١ مليمتر أو أصغر .

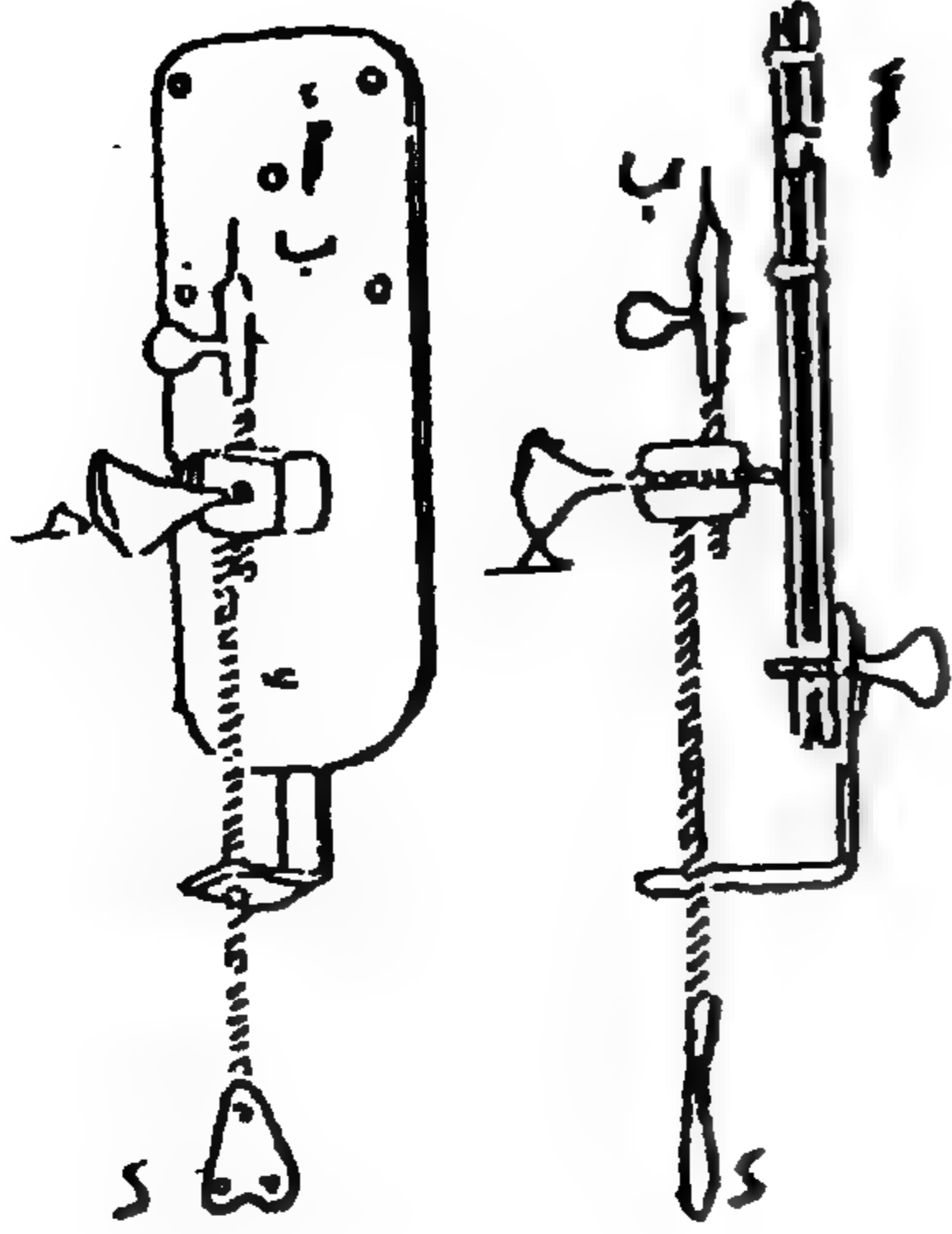
وهذا التعريف يشمل كائنات حية تتبع تقسيمات مختلفة فى عالم الأحياء ولا يمكن تمييزها بوضوح بالعين المجردة ، كما أشرنا سابقا . ويلزم لرؤيتها أو معرفة تفاصيل تركيبها استعمال المجهر (الميكروسكوب Microscope) ، وهذه الكائنات هى البروتوزوا protozoa وبعض الميتازوا Metazoa والطحالب Algae والفطريات Fungi (من الأحياء الدقيقة ذات النواة الحقيقية Eucaryotes) والبكتيريا والسيانوبكتيريا (من الأحياء الخلوية ذات النواة البدائية Procatyotes) كما أنها تشمل أجساما حية ليس لها تركيب خلوى كالفيروسات والفيروسيدات .

ولم تكن هذه الأحياء معروفة قبل تطور صناعة العدسات ، وذلك مقارنة بالأحياء الأخرى التى يمكن رؤيتها بالعين المجردة ، وان كان بعض العلماء قد تكهنوا بوجود أحياء دقيقة . فقد اقترح فراكاستورو Fracastoro (١٤٥٥-١٥٥٣م) أن الأمراض قد ترجع الى كائنات خفية غير مرئية يمكنها أن تنتقل من شخص الى آخر . ولم يتم التعرف على وجود هذه الكائنات الحية الدقيقة (الميكروبات Microbes) الا بعد اكتشاف المجهر . ويرجع الفضل فى اكتشاف المجهر الى صانع العدسات الهولندي الشهير أنتونى فان ليفنهوك

Antony Van Leeuwenhoek عام ١٦٧٢ . وكان أول مجهر صنعـه ليفينهوك عبارة عن عدسة مكبرة مركبة على أجزاء معدنية (شكل ١-١) ولقد صنع ليفينهوك منها حوالي مائتين وخمسون (٢٥٠) مجهرا يكبر الواحد منها بين ٥٠ الى ٣٠٠ مرة .

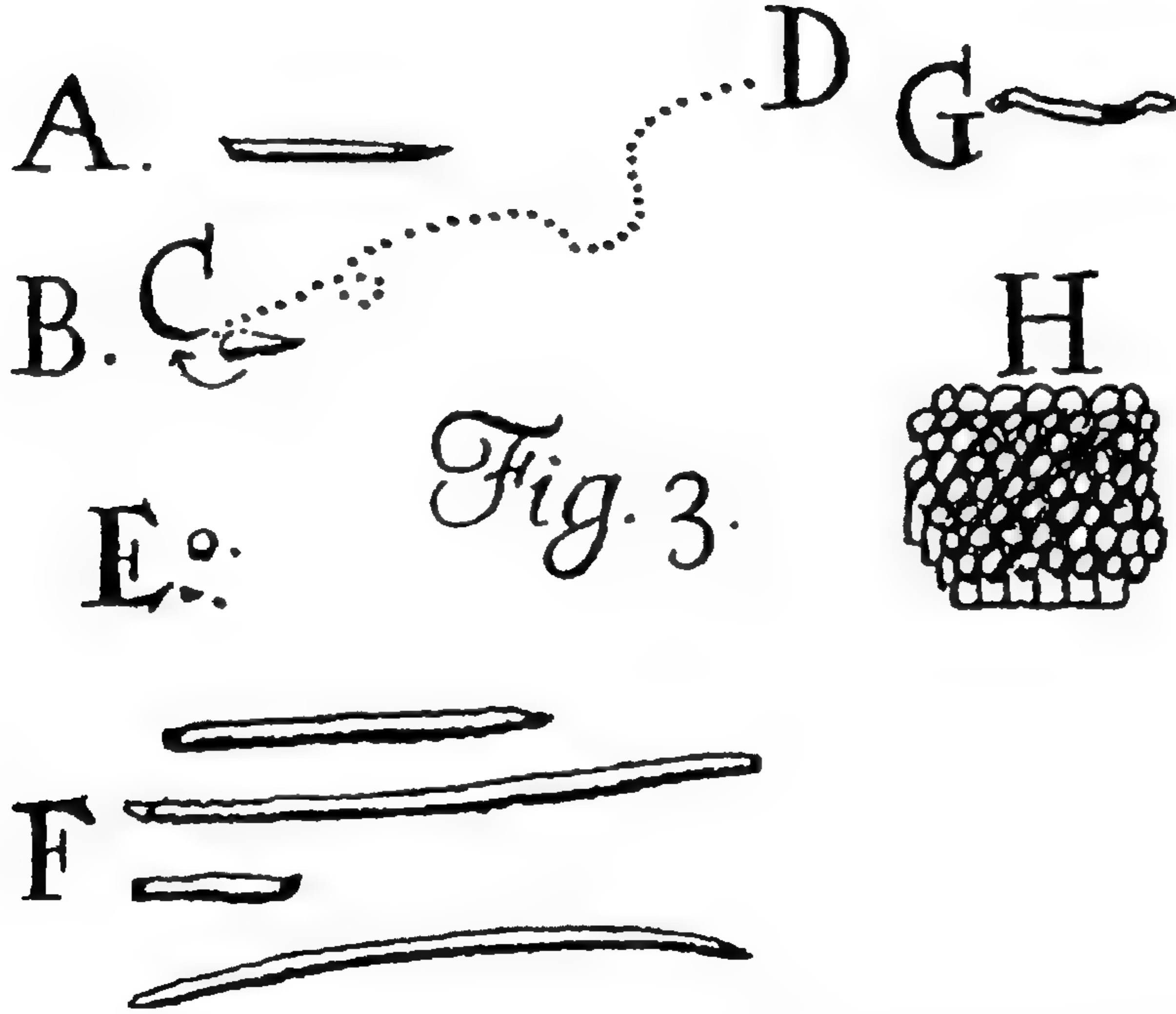
ومجاهر ليفينهوك بسيطة لا يمكن مقارنتها بمجاهر اليوم ، فالمجاهر الضوئية التي يستخدمها الطلاب اليوم في المختبرات يتكون الواحد منها من عدة عدسات تستطيع التكبير حتى ألف (١٠٠٠) مرة ، مع وجود مزايا خاصة تسمح بالرؤية على ثلاث محاور . ولقد اكتشف ليفينهوك بمجهره كثيرا من الأحياء الدقيقة (شكل ٢-١) ولم يكن يعرف عنها شيئا . وقد رسم ليفينهوك هذه الأحياء الدقيقة ودون ملاحظاته عنها بدقة ، وأرسلها الى الجمعية الملكية بلندن Royal Society in London بعد فحص عينات كثيرة من مياه الأمطار ومياه الآبار والخل والافرازات والبقايا المتحللة الموجودة على الأسنان ، وكذلك فقد فحص كثير من البذور وأجنة النباتات وكثير من الحيوانات الأولية . ولقد لاقت ملاحظات ليفينهوك ورسوماته اهتماما بالغاً في الجمعية الملكية بلندن - وهي الهيئة العلمية الأولى في ذلك الوقت التي عملت على نشر البحوث وتبادلها بين العلماء ، وان لم يدرك أحد في ذلك الوقت أهمية اكتشاف ليفينهوك . وعموما فان الدراسات الميكروبيولوجية التي جاءت قبل بحوث باستير كانت تجري لاشباع رغبة الباحثين ، وذلك بقيامهم بالبحوث من الناحية العلمية البحتة ، فشملت دراسات بيئية ومورفولوجية وتقسيمية (ومدى قرابة هذه الكائنات للأحياء الراقية) دون التعرض لأهميتها الاقتصادية .

ولقد ترك اكتشاف الأحياء الدقيقة بواسطة ليفينهوك أثرا عظيما في نفوس العلماء ، فعكف الكثير منهم على دراستها . ومن أهم هؤلاء شوان Schwann الذي اكتشف في عام ١٨٢٧م أن خلايا الخميرة (وهي كائن حي يتبع قسم الفطريات) هي السبب في التخمر الكحولي الذي يحدث للمحاليل السكرية فينتج الكحول وثاني أكسيد الكربون CO_2 . وعلل حدوث التخمر بأن خلايا الخميرة كانت دائما موجودة أثناء التخمر



شكل ١-١ : رسم توضيحي لواحد
من مجاهر ليفنهورك
أ- عدسة مكبرة
ب- السن المخصص لوضع العينة
ج- مفتاح ضبط
عن دويل Doball

Antonie van Leeuwenhoek and
his Little animals. Russell and
Russell, Inc. 1932, New York



شكل ١-٢ : رسومات ليفنهورك التوضيحية للبكتريا والتي نشرت عام ١٦٨٤ م.
ومن هذه الرسومات البعدئية يمكن تمييز بعض أنواع البكتريا
الشائعة.

A و C و F و G عبارة عن بكتريا عصوية
E بكتريا كروية دون تجمعات
H بكتريا كروية في تجمعات
عنقودية

وأن اهلاك هذا الكائن الحي يوقف التخمر ، وهذه ما تعرف بالنظرية الميكروبية Germ Theory . كان ليقنهورك من أنصارها . وللأسف فإن هذه النظرية قد لاقت معارضة جبارة من فطاحل العلماء في ذلك الوقت ، وكان معظمهم كيميائيين وطبيعيين ، فمالوا الى تفسير هذه الظاهرة من الناحية الكيميائية ، وفسروا ما حدث بأنه تحليل كيميائي ، وكان من بين هؤلاء العلماء ليبيج Leibig وبرزيلوس Berzeleus وفوهرل Wohlar وغيرهم . . . والذين كانوا يؤيدون نظرية التوالد الذاتي Spontaneous Generation Theory .

نظرية التوالد الذاتي

Spontaneous Generation Theory

قام أرسطو Aristole في خلال الفترة بين ٣٨٤-٣٢٢ قبل الميلاد بتلقين تلاميذه أن بعض الحيوانات الصغيرة قد تنشأ مباشرة من الأرض أو النباتات أو غيرها من الأشياء التي لا تمت للحيوانات بصلة . كما أن تعاليمه هذه ظلت سائدة حتى القرن السابع عشر الميلادي .

وقد أشار فيرجيل Vergil (عام ٧٠-١٩ قبل الميلاد) الى التكاثر الصناعي للنحل ، وظل هذا الاعتقاد سائدا حتى القرن السابع عشر أيضا . كما كان من المسلم به أيضا أن الديدان التي تتواجد باللحم بعد تعفنه تنشأ من اللحم نفسه ، اذا ما ترك معرضا للهواء في مكان دافئ . وظلت هذه الاعتقادات راسخة في الأذهان الى أن أتى اكتشاف الكائنات الحية الدقيقة التي جذدت اهتمام العلماء لمعرفة منشأ الكائنات الحية عموما وهو الموضوع الذي أثار كثيرا من الجدل .

فقد قام العالم فرانسيسكو ريدي (١٦٢٦ - ١٦٩٧ م) Francisco Redi . بتجربة وضع فيها اللحم في وعاء محكم الغطاء ، وأمكنه رؤية الذباب وهو يضع البيض على غطاء الوعاء مجذوبا اليه من رائحة اللحم ، وأمكن له معرفة أن الديدان تنشأ عن هذا البيض نتيجة

لنفسه . ويمثل هذه التجارب وغيرها أمكن معرفة منشأ بعض الكائنات الحية الراقية ، ولكن ظل الأمر كما هو بالنسبة للميكروبات ، حيث أن مثل هذه الكائنات الدقيقة الحجم طبقا للاعتقادات القديمة أولى من غيرها في أن تنشأ من العدم أو من أى شئ آخر .

وهكذا ظلت نظرية التوالد الذاتى بين مؤيد ومعارض على مدى فترة زمنية طويلة . ففي عام ١٧٤٩م قام جون نيد هام John Nedham بتعريض اللحم الى رماد ساخن ، وأمكنه مشاهدة كائنات دقيقة لم تنهيا له مشاهدتها باللحم عند ابتداء التجربة ، وأن هذا دفعه لاستنتاج أن هذه الكائنات نشأت من اللحم مباشرة . وفى نفس الوقت تقريبا قام سبلانزاني Spallanzani بغلى مرق اللحم بدورق زجاجى لمسددة ساعة ثم قام بسد فوهته ، وأثبت أنه لم ينشأ به فيما بعد أى كائنات دقيقة . ومثل هذه التجربة التى قام بتكرارها أكثر من مرة لم تقنع غيره من باحثى عصره ، وعلى رأسهم نيد هام الذى أصر على أن وجود الهواء أمرا لا بد منه لنشوء الكائنات الدقيقة من المرق نفسه ، ولم يكن ذلك متوافرا نتيجة للحام الدورق . وظل هذا الأمر معلقا لم يحسم الا بعد حوالى ٦٠ أو ٧٠ عاما أخرى عندما قام كل من فرانز شولز (١٨١٥-١٨٧٣م) Franze Schulze وثيرودور شوان Theodor Schwann (١٨١٠-١٨٨٢م) كل بطريقته الخاصة بدراسة دور الهواء فى نشوء البكتريا بالمرق المغلى . فقد مرر شولز الهواء خلال المرق المغلى بعد تمريرة خلال محلول من أحد الأحماض القوية . كما قام شوان بتمرير الهواء خلال المرق المغلى بعد تمريره خلال أنابيب مسخنه لدرجة الاحمرار . وفى كلا الحالتين لم يظهر بالمرق ميكروبات بالرغم من وجود الهواء . ولكن رغم هذا قاومت نظرية التوالد الذاتى كل من حاول اثبات عدم صحتها ، حيث قيل فى ذلك الوقت أن تمرير الهواء فى الحمض أو خلال أنبوبة مسخنة لدرجة الاحمرار يفسد هذا الهواء بدرجة تجعله لا يصلح لنشوء البكتريا من المرق .

وفى حوالى ١٨٥٠م قام شرودر Schroeder ودتش Dutch مشتركين باجراء تجربة أكثر اقناعا للعلماء فى هذا الوقت ، وذلك بتمرير

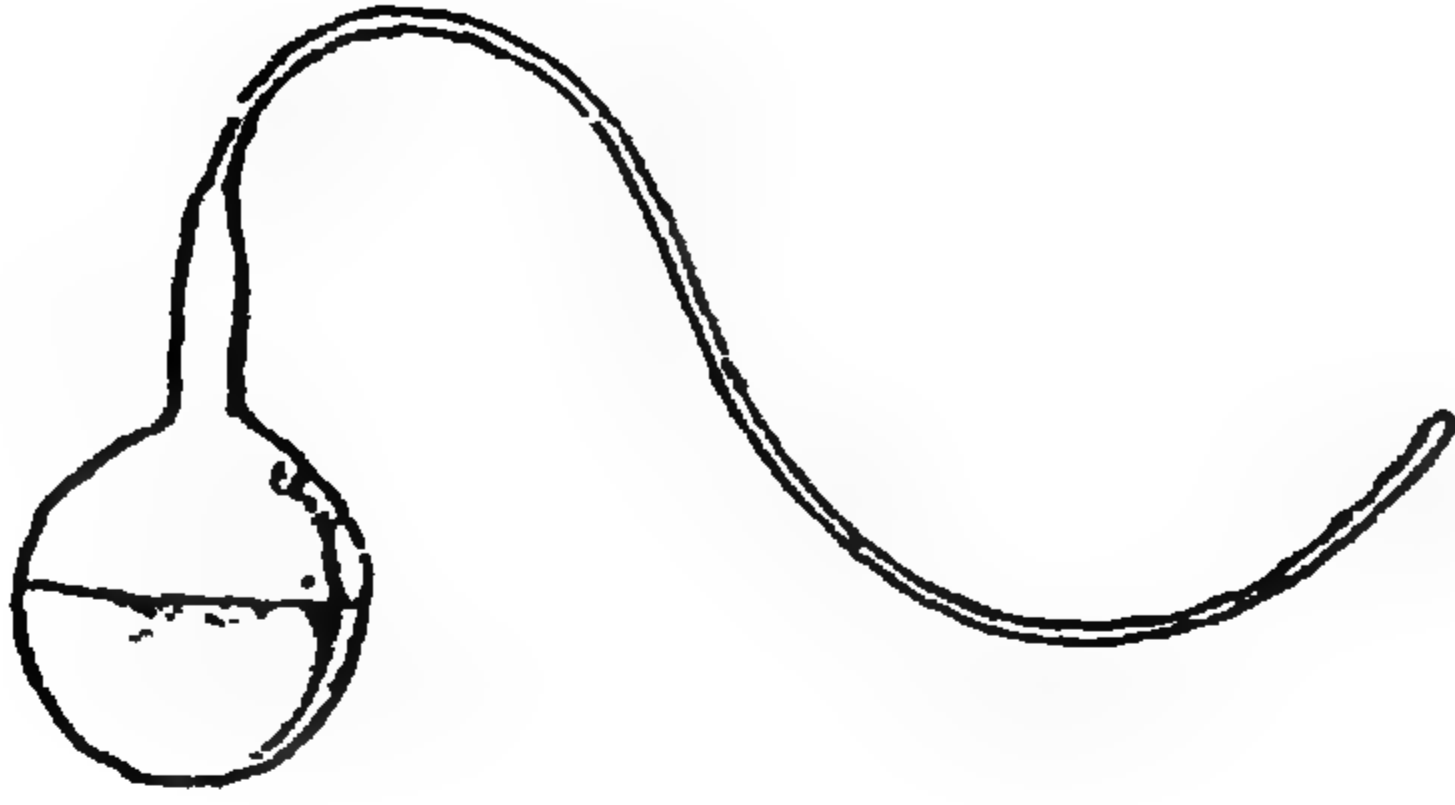
الهواء خلال انبوبة محتوية على كمية من القطن قبل تمريرها في المرق المغلى ، حيث أن القطن أدى - في هذه الحالة - وظيفة حجز الأحياء الدقيقة من الهواء المار . ومن هنا بدأ استعمال السدادات القطنية في قفل الأوعية المحتوية على مزارع الأحياء الدقيقة ومع ذلك لم تهدم نظرية التوالد الذاتى ، بل العكس من ذلك . . فقد قام بوخيت (١٨٥٩م) Pouchet بتقديم أدلة جديدة على صحتها .

ثم جاء باستير (١٨٦٤م) Louis Pasteur (١٨٢٢ - ١٨٩٥م) الذى يعتبر الأب الحقيقى لعلم الأحياء الدقيقة ، وصمم تجربتين قدما دليلا قاطعا على عدم صحة نظرية التوالد الذاتى ، وبذلك قضى على هذه النظرية قضا مبرما .

فى التجربة الأولى ، قام باستير بتجهيز دورقا ذا رقبة طويلة ملتوية وضيقة الفتحة Swan neck flask (شكل ١-٣) يحتوى على مرق مغلى ولم يقم بمعاملة الهواء أو بترشيحه بأى طريقة من الطرق حيث يمكن للهواء المرور خلال الأنبوبة ، ولكن محتوياته من الميكروبات تترسب خلال مرورها نظرا لطول وضيق عنق الدورق ، وبهذه الطريقة لم يظهر بالمرق أى كائنات حية دقيقة . وقام باستير بنشر نتائجه هذه فى جامعة السوربون عام ١٨٦٤م .

وفى التجربة الثانية قام بترشيح كميات كبيرة من الهواء خلال قطن البنادق Gun Cotton القابل للذوبان فى مخلوط من الكحول والايثير Ether وفحص البقايا المتبقية بعد ذوبان القطن فوجد فيها أجسام كروية وبيضاوية تشبه تلك الميكروبات الشهيرة تماما . وبذلك أثبت أن الكائنات الدقيقة لا يمكنها التواجد بدون آباء تشبهها ، وبمعنى آخر أنها لا تنشأ من العدم أو اللحم المتحلل أو أى مادة أخرى .

وقبل أن نبدأ الكلام عن النظرية الميكروبية ينبغى لنا الإشارة الى بعض الاكتشافات الأخرى لباستير . . فلم تقتصر اكتشافات باستير على هدم نظرية التوالد الذاتى ، وهو العالم الكيميائى أساسا ، بل



شكل ١-٣ : رسم توضيحي
للدورق ذو الرقبة الملتوية
الذى استخدمه باستير
فى اثبات عدم صحة نظرية
التوالد الذاتى .

ان باستير وضع كثيرا من الأسس لهذا العلم الذى نحن بصدد دراسته .
فقد بدأ لويس عمله كأستاذ للكيمياء بجامعة ليل Lille University
بفرنسا . ولما كانت فرنسا تشتهر فى ذلك الوقت بصناعة النبيذ والبيرة ،
فقد قام باستير بدراسة التخمر الكحولى للفاكهة والحبوب والذى يحدث
نتيجة لفعل الكائنات الدقيقة . وتمكن من الحصول على نبيذ أو بيرة
ذات طعم ثابت من دفعة لأخرى نتيجة لاختيار سلالات معينة من
الكائنات الدقيقة ذات صفات مرغوبة ثم ادخال طريقة البسترة لقتل
الكائنات الدقيقة الملوثة للعصير قبل التخمر ، وهى كائنات غير مرغوبة
كانت تسبب ما أسماه بأمراض النبيذ أو أمراض البيرة ، وبذلك كان باستير
أول من ربط بين كلمة أمراض والكائنات الدقيقة التى تسببها . أما عملية
البسترة Pasteurization (المشتقة من اسمه) وهى تسخين
العصير على درجة ١٤٥° ف لمدة ٣٠ دقيقة فقد شاع استعمالها بعد
ذلك فى الألبان وعصائر الخضار والفاكهة الطازجة لمنع انتشار الأمراض .

وقد أدى نجاح باستير فى حل مشاكل صناعة النبيذ بفرنسا بأن
كلفته الحكومة بدراسة مرض ديدان الحرير والتى كانت تستعمل فى إنتاج
وصناعة الحرير بفرنسا . وبعد عمل استمر عدة سنوات تمكن من عزل الطفيل ،
وهو من البروتوزوا ، والذى يسبب مرض البيرين Pebrine لديدان
الحرير . قد نصح باستير مربي هذه الديدان للتغلب على هذا المرض
باستعمالهم سلالات ناتجة من مزارع نقية خالية من المرض . ثم درس
باستير بعد ذلك مرض الجمرة الخبيثة Anthrax حيث حاول عزل
الميكروب المسبب . وقد قام كوخ Koch (١٨٤٣ - ١٩١٠ م)

بدراسة هذا الميكروب وتوصل للفروض الأربعة المعروفة باسم فروض كوخ Koch's postulates والتي بدأ بها العصر الذهبي لعلم الميكروبيولوجيا الطبية Medical microbiology . وفي عام ١٨٨٠ تمكن باستير من عزل الميكروب المسبب لمرض الكوليرا في الدواجن ، وتمكن من تنمية هذا الميكروب في مزارع نقية ، وقام بتطبيق فروض كوخ بأجسام العدوى الصناعية عدة مرات حدثت فيها العدوى والوفاة . ولكنه لاحظ أن بعض الدواجن المحقونة لم تصب بالعدوى أو تموت . وعندما حاول معرفة السبب في ذلك توصل الى أنه استعمل مزارع بكتيرية عمرها عدة أسابيع بدلا من استعمال مزارع حديثة العمر .

وكان هذا بداية لوضع أسس أحداث المناعة Immunization ضد الأمراض ووضع أسس لعلم جديد وهو علم المناعة Immunology . فقام بتجربة استعمل فيها مجموعتين من الدواجن ، مجموعة سبق حقنها ببكتيريا من مزارع قديمة ، والمجموعة الثانية لم تحقن أفرادها من قبل واستعمل في حقن المجموعتين ببكتيريا من مزارع حديثة العمر . فوجد أن أفراد المجموعة الثانية أصيبت كلها بالمرض وماتت في حين أن أفراد المجموعة الأولى كلها ظلت سليمة ولم تظهر عليها أى أعراض مرضية . وتوصل بذلك الى أن البكتيريا تفقد قدرتها المرضية عندما تترك نامية على البيئات الصلبة ، ولكنها لا تفقد القدرة على تنبيه جسم العائل لانتاج مواد تعرف باسم الأجسام المضادة Antibodies والتي تقى العائل من الاصابات الأخرى بالكائنات التي لم تفقد قدرتها المرضية بعد .

وقد استغل باستير هذا الاكتشاف العظيم في تحصين الماشية ضد (الحمى الفحمية) الجمرة الخبيثة ، فقد استعمل مزارع ضعيفة (أضعف قدرتها المرضية صناعيا) وأطلق عليها اسم الفاكسين (اللقاح) Vaccine . وسميت عملية التحصين هذه Vaccination أو التطعيم .

وقد اشتهر باستير بقدرته الفائقة على علاج الأمراض ثم زادت مسؤوليته عندما بدأ يواجه مشاكل مرتبطة بأمراض الانسان وهو رجل

كيميائي لم يسبق له دراسة الطب . ومع ذلك فقد استطاع انتاج فاكسين
لعلاج الكلاب المسعورة . . . والتي تحمل في لعابها كائنا ما لم يمكن عزله
في المعمل ولم يمكن تنميته ولم يمكن رؤيته بالجاهر المتوفرة آنذاك (وهذا
الكائن نعرفه الآن . . . وهو الفيروس المسئول عن داء الكلب Rabies)
كما أمكن استخدام نفس الفاكسين لوقاية الأشخاص الذين قد يصابوا بهذا
المرض نتيجة عضه من كلب مصاب بهذا الفيروس .

كما كان باستير أول من اكتشف وجود صور من الحياة تتم بدون
هواء وسماها الحياة بدون هواء (اللاهوائية) . . . وكان ذلك في
وقت اشتدت فيه سلطة الكيميائيين أمثال ليبج ولا فوازيه الذين أوضحوا
أهمية الأكسجين للحياة في الكائنات الراقية .

وقد أطلق باستير كلمة تخمر Fermentation على تحليل
السكريات لا هوائيا بواسطة الكائنات الدقيقة ، كما أطلق كلمة تعفن
Putrification على تحليل البروتينات لا هوائيا بواسطة
الميكروبات .

النظرية الميكروبية

تفترض النظرية الميكروبية أن الكائنات المجهرية (الدقيقة)
لا يمكنها أن تتواجد بدون آباء تشبهها ، أي أنها لا تنشأ من العدم
. . . وقد أثبت باستير ذلك بالدليل القاطع كما أسلفنا .

وقد استمرت الاكتشافات في مجال الميكروبيولوجيا الطبية والمناعة بعد باستير وكوخ. فاكشف كلبس ولوفلر ١٨٨٤م Klebs and Loeffler ميكروب الدفتيريا واستطاعا انتاج سمومه في البيئات الصناعية ، وقد استخدمت هذه السموم للتحصين ضد المرض . كما اكتشفت الميكروبات المسببة للكثير من الأمراض واكتشف كيفية الوقاية من تلك الأمراض ، وتم الكشف عن النظم الدفاعية التي يجابه بها الجسم الأحياء الدقيقة .

ولا تقتصر أهمية اكتشافات الأحياء الدقيقة على قدرتها على احداث الأمراض فقط . فقد اكتشف وينوجرادسكى ١٨٠٥م Winogradsky أهمية الكائنات الدقيقة في تثبيت الأزوت . الجوى محولة اياه الى صورة صالحة لتغذية النبات ثم تبعه اكتشاف بايرينيك Beijerinck ١٩٠٠م في اكتشاف أنواع أخرى من تلك الكائنات التي تثبت الأزوت الجوى .

وفي نهاية القرن التاسع عشر تمكن بوريل Burill عام ١٨٧٨ أن يتعرف على البكتيريا التي تسبب مرض اللقحة النارية في أشجار الكمثرى والتفاح ، ثم قام العالم أورين سميث Erwin Smith بعد دراسة عدد كبير من الأمراض النباتية البكتيرية وعزل مسبباتها . وفي نفس الوقت أيضا قام هانسن Emil Hansen بوضع أسس التخمرات الصناعية ، فأوصى باستعمال المزارع النقية من الخميرة والبكتيريا (والتي نعرفها الآن باسم البادئات Starters) في التخمرات الصناعية .

وكما أن اكتشاف الميكروبات لم يتم حتى تم اكتشاف المجهر ، فان اكتشاف طبيعة البكتيريا وانتسابها لعالم الأحياء ، وكذلك اكتشاف طبيعة الفيروسات لم يتم الا بعد اكتشاف المجهر (الميكروسكوب) الالكتروني Electron Microscope في منتصف القرن الحالى (العشرون) . ففي منتصف هذا القرن تم اكتشاف طبيعة الفيروسات غير الخلوية . كما تأكدت الفروق الجوهرية بين البكتيريا ، وهى كائنات ذات نواه بدائية Procaryotes والكائنات ذات النواه الحقيقية

Eucaryotes وتم بذلك فصل البكتيريا من المملكة النباتية نهائيا ، ووضعت في ملكة منفصلة سميت ملكة ذوات النواة البدائية Kingdom procaryotae لتمييزها بعدم وجود غشاء نووي واختلاف تركيب الجدار الخلوي عن باقي الكائنات الحية الأخرى ، وكذلك عدد آخر من الصفات مثل تركيب الأسواط (الفلاجلات) Flagella وغياب كثير من الأعضاء الخلوية مثل الميتوكوندريا Mitochondria والكلوروبلاست وقيام الغشاء الخلوي بوظائف هامة فيها .

كما تم أيضا فصل الفيروسات من المملكة النباتية بصفة نهائية لكونها مخلوقات غير خلوية ، أي أنها ليس لها تركيب خلوي ، وتختلف بذلك عن الركتسيا Rickettsia ، فالركتسيا كائنات خلوية لها نواة بدائية ولها جدار خلوي يحتوى على البيتيند وجليكان ، وبذلك فهي بكتيريا حقيقية . أما الفيروسات فهي عبارة عن جسيمات Particles (وليست خلايا) تحتوى على حمض نووي مغلف بغلاف من البروتين وهي متناهية في الصغر بحيث لا ترى بالمجهر الضوئي العادي ، كما أنها تمر من المرشحات التي لا تسمح بمرور البكتيريا (المرشحات البكتيرية) لذلك تسمى أحيانا الرشيحات Filtratable viruses . وكلمة فيروس Virus مشتقة من الكلمة اللاتينية Venum وتعنى باللاتينية سائل سام . وقد كانت كلمة فيروس Virus تطلق في الماضي على أي سائل يسبب مرضا سواء أكان سبب المرض بكتيريا أو فطر أو فيروس . وعندما اكتشفت البكتيريا وعلاقتها بالأمراض الناتجة عنها . اقتضت كلمة فيروسات Viruses على تلك الكائنات التي لم يمكن رؤيتها بالمجهر الضوئي ، وقد اختلفت الآراء كثيرا في كونها حية أو غير حية . ولكن معظم البيولوجيون الآن يتعاملون معها كأى كائن حي دقيق . وتدرس ضمن مقررات علوم الكائنات الحية الدقيقة Microbiology . وقد خصص لها حديثا علما قائما بذاته وهو علم الفيروسات Virology . علما بأن معظم البيولوجيون يترددون كثيرا في الإفصاح صراحة على أن الفيروسات عبارة عن كائنات حية (أحياء) دقيقة لعدم احتوائها على التركيب الخلوي .

ومن أول الفيروسات التي اكتشفت هو فيروس تبسرقش الدخان
(Tobacco Mosaic Virus (TMV) . وقد اكتشفت بعد
ذلك فيروسات كثيرة تصيب الانسان أو الحيوان أو النبات أو حتى
البكتيريا .

وقد شهدت العشرون سنة الأخيرة اكتشاف كائنات حتى أصغر
من الفيروسات ، ألا وهي الفيرويدات Viroids وهي لا تزيد عن
كونها سلسلة منفردة من الحمض النووي رن أ Single stranded RNA
تحتوي في بعض أجزاء منها على سلسلة مزدوجة Double stranded
وليس له غطاء بروتيني كما في الفيروسات ، وهي تسبب بعض أمراض
النبات والحيوان .

والكائنات المختلفة التي يعنى بدراستها علم الأحياء الدقيقة
(الميكروبيولوجيا) Microbiology هي البروتوزوا والطحالب
والفطريات والبكتيريا والفيروسات والفيرويدات يمكن تدريس كلا منها في
علم منفصل .

فالعلم الذي يدرس البروتوزوا Protozoa يسمى Protozoology
والعلم الذي يدرس الطحالب Algae يسمى Algology أو Phycology
والعلم الذي يدرس الفطريات Fungi يسمى Mycology
والعلم الذي يدرس البكتيريا Bacteria يسمى Bacteriology
والعلم الذي يدرس الفيروسات Viruses يسمى Virology

كما يمكن تقسيم علم الأحياء الدقيقة (الميكروبيولوجيا) بطريقة
أخرى وفقا لماكن وجود الأحياء الدقيقة ونشاطها وليس وفقا لنوع الكائن
الدقيق ، فعلم ميكروبيولوجيا الأغذية Food microbiology يهتم
بدراسة ميكروبات الأغذية ونشاطها .

وعلم ميكروبيولوجيا الألبان Dairy Microbiology يهتم بدراسة
ميكروبات الألبان ومنتجاتها .

وعلم ميكروبيولوجيا التربة Soil Microbiology يهتم بدراسة
ميكروبات التربة ونشاطها .

وعلم الميكروبيولوجيا الطبية Medical Microbiology يهتم بدراسة
ميكروبات الأمراض ونشاطها .

وعلم ميكروبيولوجيا التخمرات Microbial fermentation يهتم بدراسة
ميكروبات التخمرات ونشاطها .

وعلم أمراض النبات Phytopathology يدخل في اهتماماته
الميكروبات المسببة للأمراض النباتية .

كما يقسم علم الأحياء الدقيقة (الميكروبيولوجيا) تبعاً لطبيعة
الدراسة ، فمثلاً علم بيئة الأحياء الدقيقة Microbial Ecology
يهتم بدراسة بيئة الأحياء الدقيقة .

وعلم فسيولوجيا الأحياء الدقيقة Microbial Physiology يهتم
بدراسة وظائف الأعضاء الى غير ذلك من فروع العلوم المتصلة بالأحياء
الدقيقة .

أقسام الأحياء الدقيقة

ان تقسيم الأحياء الدقيقة - مثل تقسيم باقي الأحياء - هام جدا لسبب واضح ، هو أن الانسان لا يستطيع دراسة الأحياء المختلفة دون تمييز لما يتناوله بالدراسة .

والاصطلاح المتعارف عليه " كائنات حية دقيقة أو أحياء دقيقة " هو اصطلاح عام ولا يحدد مجموعة تقسيمية Taxonomic group ذات صفات محددة ، وذلك بخلاف اصطلاحات تقسيمية أخرى مثل " الفقاريات أو " النباتات الزهرية " فمثل هذه الاصطلاحات ذات مدلول معين لمجموعة من الكائنات ذات صفات تركيبية ووظيفية محددة . وبالمقارنة فان كلمة " كائن حي دقيق Microorganism " لا تعنى أكثر من أن ذلك الكائن الحي على درجة من الصغر لا تمكن من رؤيته بالعين المجردة . . . ومثل هذه الكائنات الحية الدقيقة تشمل مجموعات تقسيمية شديدة الاختلاف في صفاتها التركيبية ، بعضها (مثل الطحالب) يكون بعض أفرادها على درجة من كبر الحجم بحيث لا يمكن اعتبارها أحياء دقيقة .

الخواص العامة للأنظمة الحيوية (الحية)

The Common properties of Biological Systems

قبل اكتشاف المجهر ، ميزت الكائنات الحية Biota عن غيرها من المخلوقات (الأشياء) بصفات أربع اساسية وهي :

- ١- النمو Growth
- ٢- التكاثر Reproduction
- ٣- التنفس Respiration
- ٤- التغذية Assimilation of food

ثم أضيف الى ذلك صفة هامة بعد اكتشاف المجهر ، وهي أن تكون وحدة تكوينها الخلية . بمعنى أن تكون " الخلية هي الوحدة الأساسية لأي مادة حية (نظام حي) .

والخلية عبارة عن كائن معزول عن الخلايا الأخرى بجدار خلوى أو غشاء خلوى (يحتوى بداخله على مجموعة المكونات تحت الخلوية Sub-Cellular components بعضها فقط موجود في جميع الخلايا بصفة عامة الأحماض النووية Nucleic acids والبروتينات Protéins والدهون Lipids والكربوهيدرات Carbohydrates .

ونظرا لأن كل الخلايا تحتوى على هذه المكونات ، فهناك اعتقاد عام بأن كل الكائنات الخلوية نشأت من أصل واحد ، وخلال ملايين السنين حدثت الاختلافات المتعددة بين الكائنات . وتختلف هذه الخلايا في الحجم كثيرا ، فمنها ما لا يرى بالمجهر مثل خلايا البكتيريا المعروفة باسم الركتسيا Rickettsia ومنها ما هو كبير الحجم مثل بيضة النعامة والتي تصل أبعادها الى 170×135 ميكرومتر . أما خلايا الكائنات الدقيقة فقد اتفق على أنها خلايا الكائنات التي لا ترى بالعين المجردة .

وبالرغم من اختلاف الخلايا فهي جميعا عبارة عن نظام نشط أى ديناميكي Dynamic بمعنى أنها في حالة تغير مستمر ، نتيجة لتجديدها لمكوناتها ، فهي باستمرار تأخذ مواد من البيئة تستعملها في بناء مكوناتها وتخرج النواتج الثانوية . ومع أن الخلية في حالة تغير مستمر ، فإنها تظل دائما نفس الخلية . لذلك فهي نظام مفتوح . Open system

بعد اكتشاف المجهر الإلكتروني Electron microscope تم الكشف عن الفيروسات والفيروسات ، وهي ليست خلايا وتفتقد حتى لصفات الخلايا ، فهي ليست نظاما ديناميكيا مفتوحا Open Dynamic System فالطور الخارجى للفيروس يسمى فيروسون Virion عبارة عن نظام ثابت أى استاتيكي Static system وليست لديه القدرة على تغيير أو استبدال أجزائه الا عندما يغزو خلايا حية (ذات النظام الديناميكي المفتوح) وعندئذ فقط يكتسب الفيروس بعض صفات الخلايا الحية (الكائنات الحية) . وهذا ما جعل كثير من علماء البيولوجيا

يترددون كثيرا في الافصاح صراحة على أن الفيروسات عبارة عن كائنات حية رغم أنهم يتعاملون معها في كثير من الأحيان ككائن حي ، ورغم احتوائها على الأحماض النووية وهي أهم مكونات الكائن الحي . فقد خص للفيروسات في المملكة النباتية (منذ زمن طويل) قسم خاص سمي باسمها Order Viralis كما أن الفيروسات تدرس ضمن علوم الأحياء الدقيقة منذ وقت ليس بالقصير .

في العصر الحديث طورت الصفات التي تتميز بها الكائنات الحية Biota عن غيرها من المخلوقات (الأشياء غير الحية) Abiota لتصبح كالآتي :

- ١- جميع الكائنات الحية تحتوي على أحماض نووية وبروتينات .
- ٢- جميع الكائنات الحية تقوم بنشاطات معينة تعرف باسم الأيض أو النشاطات الحيوية Metabolism or metabolic activities .
- ٣- جميع الكائنات الحية لها تركيب طبيعي متميز في وحدات مجهرية تسمى الخلايا Cells أو الفيروسات Virions .

وكما هو ملاحظ أن الصفات الثلاث العامة السابقة تنطبق على جميع الكائنات التي تكون وحدة تركيبها الخلية أو الفيروس ، أما الفيروسات Viroids فلا تنطبق عليها بعض الصفات المذكورة .

التقسيم المبدئي للكائنات الحية Primary Divisions of Cellular Organism

لقد مر تقسيم الكائنات الحية وانتسابها للكائنات المختلفة بمراحل عديدة فقد توصل الانسان بمنطقه - من قديم الزمان - إلى أن كوكب الأرض يعيش عليه نوعين من الكائنات هما النباتات والحيوانات . وقد وجد هذا التقسيم فيما قبل بداية علوم الأحياء Biology وقد

انطلق البيولوجيون (المتخصصون في علوم الحياة) من هذه النقطة
فقسموا جميع الكائنات المعروفة — منذ زمن بعيد — في مملكتين أساسيتين
هما : المملكة النباتية Kingdom Plantae والمملكة الحيوانية
Kingdom Animalia — وأمكن التمييز بين أفراد المجموعتين بعدد
من الصفات والخواص التركيبية والوظيفية التي يمكن تلخيصها في جدول
١-١ .

جدول ١-١ : الاختلافات الجوهرية بين الحيوانات الراقية
والنباتات الراقية

الصفات	النباتات	الحيوانات
صفات وظيفية مصدر الطاقة • مصدر الكربون الاحتياج لعوامل نمو خاصة • الحركة •	الضوء • ثاني اكسيد الكربون • لا يوجد غير واضحة	طاقة كيميائية مركبات عضوية • احتياجات معقدة نشطة وواضحة
صفات تركيبية الجدار الخلوي البلاستيدات الخضراء • نظام النمو	يوجد يوجد مفتوح	لا يوجد لا يوجد مغلق (محدد)

وقد كان هذا التقسيم مرضيا وكافيا للبيولوجيون طالما كان التمييز
المطلوب هو بين النباتات والحيوانات الراقية • عندما اكتشفت الكائنات
الدقيقة في القرن الثامن عشر والتاسع عشر لم يدر بخلد المتخصصون
في علوم الحياة (البيولوجيون) أي شك في أنه من الممكن توزيع هذه

الكائنات الدقيقة بين الملكتين النباتية والحيوانية . ومن الوجهة العملية كان يجرى توزيع الكائن الحي على احدى الملكتين اعتمادا على الاختلافات التي يمكن مشاهدتها بوضوح كالقدرة على الحركة النشطة Active movement أو القدرة على التمثيل الضوئي Photosynthesis لذلك وضعت الطحالب (وهي كائنات لا تتميز فيها سيقان أو جذور أو أوراق مثل سائر النباتات الراقية ، ولكنها غير متحركة وتقوم بتمثيل الضوء) بسهولة في المملكة النباتية . كما وضعت الفطريات أيضا في المملكة النباتية لمشابتها للطحالب في عدم الحركة ووجود الجدار الخلوي — رغم عدم قدرتها على التمثيل الضوئي . أما الـ Infusaria وهي كائنات متحركة وليس لها القدرة على التمثيل الضوئي ، فقد وضعت ضمن المملكة الحيوانية (جدول ١-٢) .

جدول ١-٢ : المحاولات الأولية (حوالي عام ١٨٠٠ م)
لتقسيم الكائنات الدقيقة بين الملكتين النباتية والحيوانية

الكائنات الدقيقة التي وضعت في المملكة الحيوانية وسبب ذلك .	الكائنات الدقيقة التي وضعت في المملكة النباتية وسبب ذلك .
الانفيوزاريا Infusaria (متحركة)	<p>* الطحالب (غير متحركة — لها جدار خلوي — يقوم بالتمثيل الضوئي) .</p> <p>* الفطريات (غير متحركة — لها جدار خلوي) .</p>

وبعد أن تطورت نظرية الخلية وأصبحت مقبولة (في حوالي ١٨٤٠ م) ومضمونها أن جميع الكائنات الحية وحدتها الخلية كما سبق الإشارة اليه وجد البيولوجيون أن مجموعة الانفيوزاريا Infusaria عبارة عن عدد كبير من الكائنات تختلف عن بعضها كثيرا . . فمنها ما هو عديد الخلايا multicellular ومنها ما هو وحيد الخلية Unicellular

وحتى أولئك الوحيدى الخلية فمنهم ما له جدار خلوى Cell wall ومنهم ما ليس له جدار خلوى . لذلك فقد ضمت الكائنات المتعددة الخلايا (المجهرية) الى المملكة الحيوانية Metazoa وكذلك الكائنات الوحيدة الخلية Unicellular والتي لا تحتوى على جدار خلوى ، وهى البروتوزوا Protozoa فقد ضمت الى المملكة الحيوانية أيضا ، أما البكتيريا Bacteria وهى كائنات وحيدة الخلية ولها جدار خلوى ، فقد وضعت فى المملكة النباتية رغم عدم قدرتها على التمثيل الضوئى وذلك للشبه الكبير بين البكتيريا وما كان يعرف فى ذلك الوقت باسم الطحالب الخضراء المزرقة Blue green algae وهى كائنات وحيدة الخلية لديها القدرة على التمثيل الضوئى .

ولكن الخبرات التى اكتسبت بعد ذلك أوضحت بعض الصعوبات فى تقسيم هذه الكائنات على هذه الصورة . فالبروتوزوا (الكائنات الحيوانية وحيدة الخلية) عبارة عن مجموعة كبيرة غير متجانسة من الكائنات ، فمثلا الأميبا Amoebas والهدبيات Ciliates ليس لها جدار خلوى ويمكن وضعها بارتياح فى المملكة الحيوانية ، أما السوطيات Flagellates فقد اتضح أنها مجموعة متنوعة من الكائنات الدقيقة لا يحتوى بعضها على أى صفة تشبه صفات الحيوانات أكثر من وجود الأسواط كوسيلة للحركة ، بينما وجد أن بعض السوطيات لها جدار خلوى وبعضها ليس لها جدار خلوى . بعضها له القدرة على التمثيل الضوئى Phototrophic وبعضها ليس له القدرة على ذلك بل يعتمد على الطاقة الكيميائية Chemotrophic كما أن بعضها كان له القدرة على امتصاص الغذاء من البيئة Osmotrophic بينما بعضها الآخر يستطيع التهام الطعام Phagotrophic مثلها فى ذلك مثل الأميبا وعلى ذلك كانت هذه المجموعة من الكائنات تحتوى جميع الصور التى تشبه النباتات ، وجميع الصور التى تشبه الحيوانات . كما أن مجموعة أخرى من البروتوزوا Protozoa تسمى باسم الفطريات اللزجة Slime mold شكلت صعوبات واضحة فى التقسيم ، فهى فى المرحلة الخضرية تشبه البروتوزوا Protozoa من حيث عدم وجود جدار خلوى وقدرتها على التهام الغذاء . ولكن هذه الكائنات لها القدرة على تكوين أجسام

شعرية Fruiting Structure تشبه في شكلها وحجمها الفطريات الحقيقية (المنتسبة للمملكة النباتية) .

وكلما تقدمت الدراسات والاكتشافات للمجموعات المختلفة من الكائنات أصبح من الواضح أن تقسيم جميع الكائنات في مملكتين فقط (النباتية والحيوانية) غير كاف وغير مقنع للكثير من البيولوجيين Biologists فقد كانت بعض المجموعات من الكائنات الحية تقسم ضمن المملكة الحيوانية وضمن المملكة النباتية في نفس الوقت مثل السوطيات Flagellates والفطريات اللزجة Slime mold .

ويمكن تفسير هذه الاختلافات بسهولة على أساس التطور الذي حدث عبر الدهور . فالواضح أن كل مجموعات الكائنات الحية الدقيقة نشأت من أصل واحد وخلال تطورها ظهرت كائنات المملكة النباتية وكائنات المملكة الحيوانية .

اقترح ملكة البروتستا :

ان عدم اقتناع عدد كبير من البيولوجيين Biologists وعدم رضاهم عن انتماء بعض الكائنات الدقيقة لكلا المملكتين حدا بأحد تلاميذ داروين Darwin وهو هيكل E. Haeckel الى اقتراح ملكة ثالثة Third Kingdom سماها ملكة البروتستا Protistae لتشمل كل الكائنات الدقيقة وهي البروتوزوا Protozoa والطحالب Algae والفطريات Fungi والبكتيريا Bacteria . ومن الواضح أن هذه المملكة احتوت على كائنات تشبه النباتات وكائنات تشبه الحيوانات وكائنات تشبه الاثنين معا .

والشيء الذي تتميز به أفراد الكائنات التابعة لهذه المملكة Protists وهو البساطة النسبية في تركيبها ، وأن كانت بعض كائنات البروتستا وحيدة الخلية Unicellular وبعضها متعدد الخلايا Multicellular وبعضها متعدد الأنوية Coenocytic وبعضها وحيد النواة Uninucleates .

وبناء على ذلك قسمت الكائنات كلها تبعا لدرجة التعقيد فسي التركيب الى كائنات أولية وكائنات متطورة Highly organized الكائنات الأولية تشمل (البروتوزوا ، الطحالب ، الفطريات ، البكتيريا) ثم فصلت البكتيريا فيما بعد من هذه المملكة في مملكة منفصلة وهي مملكة بدائية النواة Kingdom Procaryotae ، وأما الكائنات المتطورة فتتقسم الى المملكتين النباتية والحيوانية وفقا للصفات التي تميز بين النباتات الراقية والحيوانات الراقية التي سبق الاشارة اليها .

الأحياء حقيقية النواة Eucaryotes والأحياء بدائية

النواة Procaryotes

في منتصف القرن العشرين أدى ظهور المجهر الالكتروني والذي يستطيع تكبير الأشياء آلاف المرات الى اكتشافات هامة في مجال التركيب الداخلي للخلايا . فقد أوضحت الدراسات أن الكائنات الحية كلها يمكن تقسيمها الى مجموعتين بناء على تركيبها الخلوي . فالخلية الأكثر تعقيدا هي الخلية ذات النواة الحقيقية Eucaryotes وهي وحيدة جميع الكائنات ذات التركيب الخلوي (النباتات الراقية والطحالب والفطريات والحيوانات الراقية والبروتوزوا) فيما عدا البكتيريا ، أما الخلية الأقل تعقيدا فهي الخلية ذات النواة البدائية Procaryotes والكائنات الحية ذات النواة البدائية تشمل البكتيريا ، وما كان يعرف في الماضي باسم الطحالب الخضراء المزرق Blue green Algae وقد سميت هذه الأخيرة الآن باسم البكتيريا الخضراء المزرق Blue green bacteria نظرا للشبه الشديد بينها وبين البكتيريا الحقيقية ، كما أن هذه الأحياء تختلف اختلافا جوهريا عن الطحالب الحقيقية والتي تحتسب على نواة حقيقية

ومع النمو السريع في المعلومات المتحصل عليها - في مجال التركيب الدقيق لخلايا الأحياء الدقيقة - بواسطة المجهر الالكتروني حدث نمو

آخر سريع أيضا في مجال وظائف الأعضاء الدقيقة للخلايا مثل نقل المعلومات الوراثية وترجمتها Transmission and experection of genetic information ونظم تمثيل الطاقة ونظم دخول وخروج المواد من وإلى الخلية وغيرها من الاكتشافات. وأدت هذه الاكتشافات المتلاحقة إلى ترسيخ الفصل بين الأحياء ذات النواة الحقيقية Eucaryotes والأحياء ذات النواة البدائية Procaryotes وأصبحت هذه الصفة (وجود نواة حقيقية أو غيابها) هي أكثر الصفات منطقا وأهمية في فصل الكائنات الحية من وجهة التطور وليس هذا فقط بل أن هذه الصفة تفصل مجموعتين مختلفتين تماما من الكائنات الحية .

وبذلك فانه إذا كان التركيب الخلوي أو الفيريوني (في المستوى الأول من التمييز) هو الصفة التي تميز بين الكائنات الحية Biota والأشياء غير الحية Abiota فان وجود النواة الحقيقية (في المستوى الثاني من التمييز) ينبغي أن يكون الصفة التي تقسم الكائنات الحية إلى قسميها المختلفين (ذوى النواة البدائية وذوى النواة الحقيقية) على أن يكون مدى بدائية أو تطور الكائن الحي هو المستوى الثالث للتمييز (شكل ١-٤) بينما تؤخذ الصفات التي تميز بين النباتات والحيوان من قديم الزمن على المستوى الرابع من التمييز لفصل الكائنات النباتية عن الحيوانية . ويمكن تلخيص ذلك في الشكل (١-٤) حيث يمكن تقسيم كافة الأحياء ذات التركيب الخلوي (كما نعرفها اليوم) في أربع ممالك :-

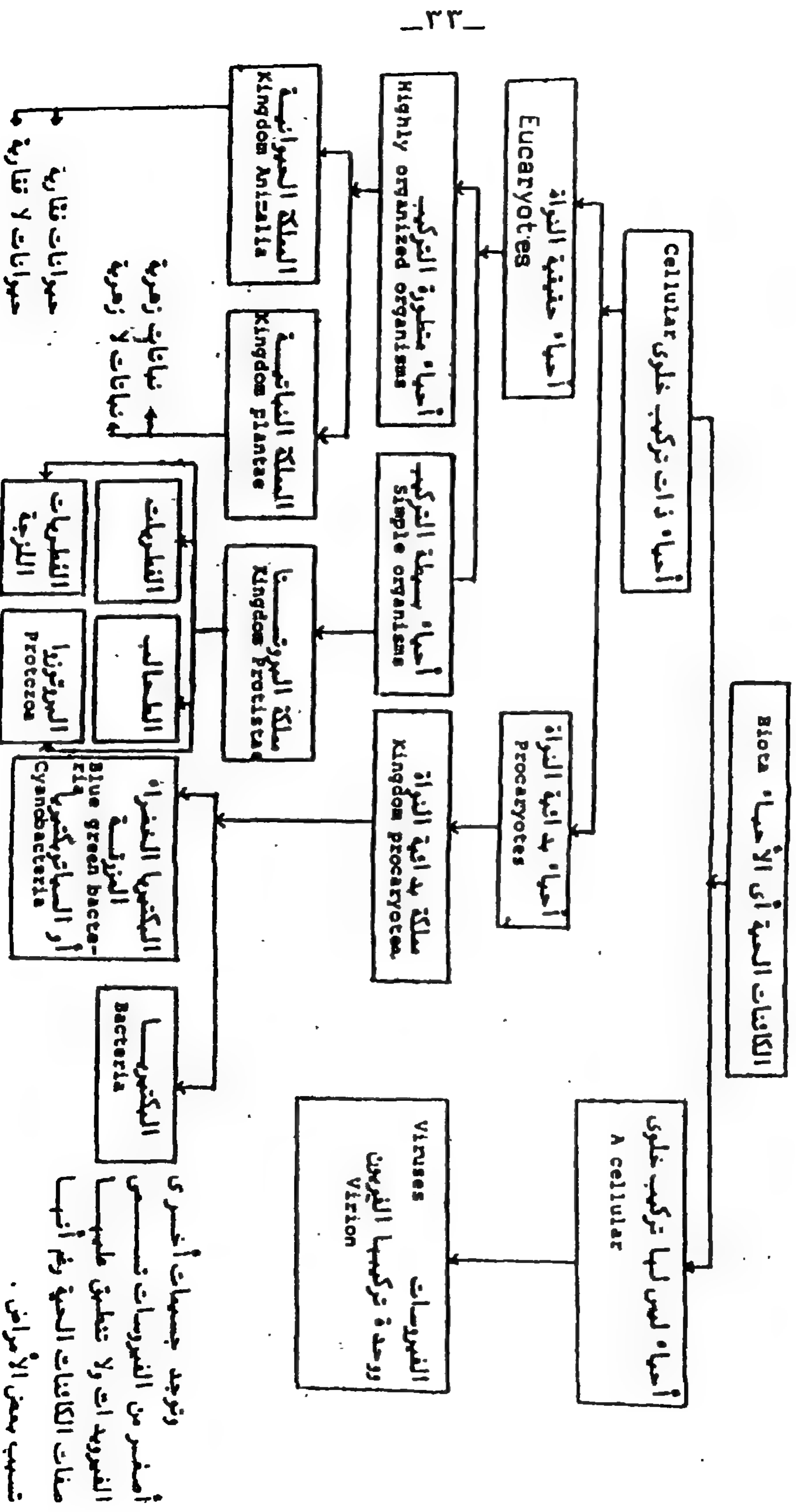
أولا : المملكة الحيوانية : Kingdom Animalia

وتشمل الحيوانات الفقارية Vertebrates واللافقارية Invertebrates

ثانيا : المملكة النباتية : Kingdom Plantae

وتشمل النباتات الزهرية واللازهرية .

شكل ١-٤ : كيفية تقسيم الكائنات الحية الى فروعها الأساسية :



وتوجد جسيمات أخرى
أصغر من الفيروسات تسمى
الفيروسات ولا تنطبق عليها
صفات الكائنات الحية رغم أنها
تسبب بعض الأمراض .

ثالثا : مملكة البروتستا : Kingdom Protistae

وتشمل الطحالب Algae والفطريات Fungi والفطريات
اللزجة Slime mold والبروتوزوا Protozoa .

رابعا : مملكة ذات النواة البدائية : Kingdom procaryotae

وتشمل البكتيريا Bacteria والسيانوبكتيريا Cyanobacteria
(البكتيريا الخضراء المزرقه Blue green bacteria) .

أما المملكتين النباتية والحيوانية فهما موجودتان من قديم الزمان
ولا اختلاف على وجودهما . كما أن مملكة ذوات النواة البدائية قد
أصبحت مقبولة من جميع البيولوجيين للاختلافات الجوهرية بين ذوات
النواة البدائية وبين جميع الكائنات الحية الخلوية الأخرى .

أما مملكة البروتستا فما زالت موضع نقاش كبير ، وما زال كثير من علماء
النبات Botanists يعتبرون الفطريات والفطريات اللزجة والطحالب
ضمن المملكة النباتية (النباتات الثالوسية Thalophyta) بينما
يعتبر الكثير من علماء الحيوان أن المكان الطبيعي للبروتوزوا والفطريات
اللزجة هو المملكة الحيوانية رغم المشاكل التي سبق شرحها من حيث
وجود الفطريات اللزجة وبعض أفراد البروتوزوا مثل السوطيات فـسـى
كلا المملكتين .

وأيا كان موضع هذه الأحياء الدقيقة ، فقد تم التعارف على أن
علم الأحياء الدقيقة يهتم بدراسة الأحياء المجهرية التي لا تتميز بالعين
المجردة وهي البكتيريا والطحالب والفطريات والفطريات اللزجة
والبروتوزوا . وهذا غير دراسة الفيروسات والفيروسات ، ولذلك فإن هذا
الكتاب سيتعرض لدراسة هذه المجموعات .

الفصل الثاني

أهمية دراسة الأحياء الدقيقة

يتميز كوكب الأرض بوجود صور مختلفة من الحياة . ومن غير المعروف الآن ما اذا كانت الحياة - كما نعرفها الآن - توجد في كواكب أخرى في هذا الكون الواسع . ولكن البيئة الممتازة لكوكب الأرض تبدو واضحة جلية بمعرفة الصور المتعددة والمختلفة للحياة ، والاختلافات بين الكائنات الحية الراقية أقل كثيرا من تلك التي توجد بين الأحياء الدقيقة ، وعلى أى حال لا توجد بيئة من البيئات على الأرض تنمو فيها الأحياء الراقية دون نمو الأحياء الدقيقة ، ولكن العديد من البيئات التي لا تصلح أو لا تناسب نمو الأحياء الراقية يوجد بها أحياء دقيقة نامية - أو حتى مزدهرة النمو ، ولكن نظرا لأن حجم الأحياء الدقيقة يكون دون قدرة ابصار العين البشرية فغالبا ما لا يدرك الانسان نمو الأحياء الدقيقة للوهلة الأولى ، ولكن الأحياء الدقيقة تؤدي عددا من الوظائف التي لا غنى عنها للأحياء الراقية بما في ذلك الانسان . لذلك فانه يمكن القول أن الحياة لجميع الكائنات الراقية تختهى بسرعة من على كوكب الأرض في غياب الأحياء الدقيقة ، وذلك على الرغم من الانزعاج الذي يصيب كثيرا من الناس عندما يسمعون كلمة أحياء دقيقة أو ميكروبات أو جراثيم أو غيرها من الاصطلاحات . ولا تنحصر أهمية الأحياء الدقيقة في قدرتها على احداث الأمراض في الانسان والحيوان والنبات - ولو أن ذلك في حد ذاته كافيا لجذب اهتمام جميع البشر - ولكن الأهم من ذلك هو دور الأحياء الدقيقة في اكمال دورات العناصر المختلفة في الطبيعة تيسيرا لاعادة استعمالها بواسطة الأحياء المختلفة ، وقد لجأ الانسان لاستعمال الأحياء الدقيقة في كثير من أمور مثل انتاج المضادات الحيوية لعلاج الأمراض ، وكذلك انتاج كثير من المواد الغذائية أو الصناعية الهامة مثل الخبز ومنتجات الألبان والمخللات والفيتامينات والانزيمات والبروتينات والدهون والاستيرويدات والأحماض العضوية والكحولات وحتى انتاج المتفجرات وغيرها من المركبات . كما لجأ الانسان الى الأحياء الدقيقة في مكافحة الحشرات وزيادة خصوبة التربة والتخلص من الفضلات الزراعية والآدمية والكشف عن أماكن وجود

البتسول .

ويعزى للأحياء الدقيقة الفضل فى تطوير معلومات الانسان فى مجالات علوم المناعة والوراثة والكيمياء الحيوية والهندسة الوراثية والطب وحفظ الأغذية والدراسات البيئية والعديد من المجالات الأخرى مثل مجال الحرب الحيوية (البيولوجية) أو حرب الجراثيم .

ولا يمكن لكتاب يمثل هذا الحجم أن يتناول بالحصر كل تلك المجالات بالتفصيل ، ولكننا سنتناول هذا الموضوع بقدر من الإيجاز .

أولاً ، دور الأحياء الدقيقة فى إكمال دورات العناصر المختلفة فى الطبيعة

يبدو أن الحالة الكيميائية الراهنة للعناصر المختلفة على سطح الأرض قد جاءت كنتيجة مباشرة لنشاط الأحياء المختلفة . فقبل بدء الحياة كانت الغازات فى الغلاف الجوى المحيط بالأرض مختزلة إلى درجة كبيرة ، فالنيتروجين (N_2) كان موجوداً فى صورة أمونيا (NH_3) والأكسجين O_2 كان موجوداً فى صورة ماء (H_2O) والكربون (C) فى صورة ميثان (CH_4) ثم تأكسدت كميات كبيرة من هذه العناصر بمرور الوقت ، ولذلك فهى توجد الآن فى صورة غازات نيتروجين (N_2) وأوكسجين (O_2) وثانى أكسيد الكربون (CO_2) والكمية الموجودة من هذه المركبات الآن تمثل فى الحقيقة محصلة الاتزان بين الناتج من هذه المواد والمستهلك منها بواسطة الأنظمة الطبيعية والحوية المختلفة وهذا التغيير بين الحالة المؤكسدة والمختزلة للمواد يحدث فى جميع أرجاء الأرض حيثما وجدت كائنات حية ، وتسمى جميع الأماكن المحتوية على أحياء مجتمعة بالمنطقة الحياتية Biosphere من الأرض ، وذلك تمييزاً لها عن المناطق الثلاث (الغلاف المائى Hydrosphere واليابسة Lithosphere والغلاف الجوى Atmosphere) التى تقسم إليها الأرض من الناحية الجيولوجية .

والغلاف الحيوى أو الحياتى Biosphere تمثله كتلة الأحياء الموجودة فى الغلاف الرقيق من القشرة الأرضية متضمنا اليابس والماء والهواء .

ويوجد هذا الغلاف الحياتى الرقيق على سطح الأرض بصفة عامة فى صورة مستمرة Steady state ومتزنة الى حد ما . ويرجع الاتزان المستمر لهذا الغلاف الى اعادة الاستخدام بصورة دورية Cyclic turnover مستمرة للعناصر المختلفة الضرورية للحياة والذي يتم التحكم فيه بواسطة الطاقة المنبعثة من الشمس .

وتأتى الخطوات المختلفة لاعادة استخدام العناصر بصفة دورية كنتيجة لنشاط الأحياء المختلفة . ولذلك فان التواجد المستمر لأى مجموعة من مجموعات الأحياء التى تساهم فى اكمال دورات العناصر يعتمد على تواجد كل المجموعات الأخرى من الأحياء التى تساهم فى اكمال دورات العناصر المختلفة ، وأى كسر فى الدورة عند أى نقطة يؤدي الى القضاء على جميع صور الحياة الأخرى . وتحدث التغيرات الدورية لكل العناصر الرئيسية الضرورية للحياة (الكربون والأكسجين والنيتروجين والكبريت والفوسفور) .

ويمكن تلخيص طبيعة التغيرات الدورية فى الغلاف الحياتى كما يلى :

يتحول ثانى أكسيد الكربون (CO_2) ومركبات معدنية أخرى تسحب من البيئة الى مركبات عضوية بواسطة عملية التمثيل الضوئى للأحياء المحتوية على كلوروفيل وخاصة لمجموعتين من الأحياء أولهما هى النباتات الزهرية على اليابسة والثانية هى الأحياء المائية التى تحتوى على الكلوروفيل كالطحالب وحيدة الخلية مثل الدياتومات Diatoms والسوطيات Dinoflagellates .

وتعتبر هذه المركبات العضوية هى مصدر الطاقة بطريقة مباشرة أو غير مباشرة لجميع صور الحياة الأخرى ، حيث تستهلك الأحياء

المثلة للضوء بواسطة الحيوانات المائية والبرية أو بواسطة الأحياء الدقيقة . لذلك يطلق على الأحياء المثلة للضوء اسم المنتج الأساسي Primary producers نظرا لأنها تقوم بتثبيت الطاقة الضوئية وإنتاج الغذاء لسائر الأحياء الأخرى مباشرة أو غير مباشرة ، ويطلق على الحيوانات آكلة العشب والطحالب اسم المستهلك الأول Primary consumer (herbivorous) وقد تصبح كائنات مجموعة المستهلك الأول نفسها طعاما لأحياء أخرى مثل آكلات اللحوم Carnivorous ولذلك تسمى آكلات اللحوم باسم المستهلك الثانى Secondary consumer ، وتمثل كائنات مجموعة المستهلك الثانى طعاما لأحياء أخرى مكونة بذلك سلسلة من المستهلكين تعرف باسم سلسلة الغذاء Food Chain .

والعناصر المعدنية التى تم تثبيتها مع ثانى أكسيد الكربون الى مواد عضوية لا يمكن إعادة استخدامها ثانية الا بعد إعادة تحويلها ثانية للصورة غير العضوية ، وتسمى هذه العملية باسم المعدنية Mineralization وفى هذه الخطوة يتم تحليل أجسام النباتات والحيوانات وفضلاتها الى مكوناتها الأساسية بواسطة الأحياء الدقيقة وبصفة خاصة الفطريات والبكتيريا . وقد قدر أن ٩٠ ٪ من عملية المعدنية (تحويل المواد العضوية الى ثانى أكسيد الكربون + أملاح معدنية) على سطح الأرض يتم بواسطة هاتين المجموعتين من الأحياء الدقيقة (البكتيريا والفطريات) أما ١٠ ٪ الباقية فانها تتم بواسطة النشاطات الحيوية لسائر الأحياء الأخرى مضافا اليها احتراق الزيوت والوقود والمواد المختلفة . ومن ذلك نرى المساهمة العظيمة للأحياء الدقيقة فى هذه الخطوة (المعدنية) الهامة لاستمرارية الحياة لسائر الأحياء الأخرى . وترجع مشاركة الأحياء الدقيقة فى معدنة هذه النسبة العالية من المواد العضوية الى :

- (١) قدرتها العالية للتمثيل الغذائى (نسبة لارتفاع نسبة سطحها الى حجمها) كما سيلي شرح ذلك بالتفصيل فيما بعد .

(٢) كتلتها الحيوية ، اذ يحتوى كل جرام من التربة الخصبة على نحو ١٠٠ مليون من الخلايا البكتيرية الحية يتراوح حجم الواحدة منها بين ١-٣ ميكروميتر مكعب (الميكروميتر يساوى جزء من ألف جزء من المليمتر) وقد قدرت كتلة الفطريات والبكتيريا فى البوصات الست السطحية لمساحة هكتار واحد من تربة زراعية جيدة بحوالى طنان . وهذا يعنى من الناحية العلمية أن الكتلة الكلية للميكروبات على هذا الكوكب توشك أن تستعصى على الاحصاء لفرط ضخامتها . وقد تبلغ - طبقا لبعض التقديرات - بالقياس لكتلة الحيوانات فى البر والبحر معا خمسة وعشرون ضعفا .

(٣) تتكاثر بعض الأحياء الدقيقة بسرعات كبيرة جدا عندما تتاح لها الظروف المناسبة للنمو ، فبعض أنواع البكتيريا قد تنقسم خلاياها فى ظروف مناسبة مرة كل خمس عشرة دقيقة ، والكثير من البكتيريا يتضاعف مرة كل ٢٠ دقيقة ، وهذا بالطبع معدل مذهل للتكاثر اذا قيس بأغلب الأحياء الأخرى . فالخلية الواحدة من بكتيريا القولسـون *E. coli* - اذا توفرت لها الظروف المناسبة باستمرار فرضا - تستطيع انتاج كتلة من البكتيريا تزيد عن وزن الأرض فى يومين .

(٤) تؤدى النشاطات المختلفة للأحياء الدقيقة مجتمعة السى تحليل أى مادة عضوية فى الطبيعة (باستثناء عدد قليل جدا من المواد كالبلستيك) .

وفىما يلى نستعرض دورات العناصر المختلفة لايضاح دور الأحياء الدقيقة فيها .

١- دورة الفوسفور :

دورة الفوسفور هى أبسط دورات العناصر فى الطبيعة من الوجهة الكيميائية . فالفوسفور يوجد فى الأحياء برقم تأكسد واحد هو (+٥) سواء أكان ذلك فى صورة أيونات أملاح الفوسفات أو فى صورة فوسفات

عضوية فى مكونات الخلية . ومعظم الأحياء الدقيقة لا تستطيع الاستفادة من الفوسفات العضوية فى الوسط المحيط ، ولكن معظم احتياجات الفوسفور يتم تغطيتها بواسطة أملاح الفوسفات غير العضوية ، وهذه تتحول داخل الخلايا الى فوسفات عضوية فى المركبات الخلوية المختلفة وعند موت الخلايا فان أيونات الفوسفات تنطلق ثانية نتيجة لعمليات التحلل (المعدنة) للخلايا الميتة .

وتستخدم الفوسفات الناتجة فى بناء خلايا جديدة . وبالرغم من توفر أملاح الفوسفات بكثرة فى الأرضى والصخور فان الفوسفات كثيرا ما تكون عاملا محمدا للنمو لبعض الأحياء الدقيقة وذلك لأن كميات كبيرة من الفوسفات الموجودة تكون غير ذائبة مثل فوسفات الكالسيوم أو فوسفات الحديد أو فوسفات الألومنيوم . كما أن المياه العذبة كثيرا ما تكون الفوسفات فيها بتركيزات منخفضة جدا ، ولذلك فكثير من الأحياء البحرية تعتمد احتياجاتها من الفوسفور من التغذية على بعض الطحالب المائية والتي تقوم بتركيز الفوسفات من ماء البحر .

تنتقل أملاح الفوسفات القابلة للذوبان من اليابس الى مياه البحار والمحيطات بصفة مستمرة نتيجة الأمطار أو نتيجة صرف الأرضى الزراعية فى المصارف المختلفة .

وهذه الحركة المستمرة من اليابس الى البحر يقابلها تحول بعض أملاح الفوسفات غير القابلة للذوبان فى الصخور والأرضى الى فوسفات ذائبة وذلك لدعم استمرارية الحياة لسائر الأحياء .

وهذا التحول لأملاح الفوسفات غير القابلة للذوبان الى أملاح قابلة للذوبان يتم أساسا بواسطة الأحياء الدقيقة التى تفرز مواد حمضية (أحماض الستريك - النيتريك والكبريتيك) وذلك كمخلفات ثانوية لها فتذيب أملاح فوسفات الكالسيوم . كما أن البكتيريا التى تنتج كبريتور الأيدروجين H_2S كمادة ثانوية تقوم بإذابة فوسفات الحديد . . . وهكذا يحدث التوازن بين الفوسفات التى تفقد الى البحار والمحيطات والفوسفات التى تذوب باستمرار من الأرضى والصخور وكذلك الفوسفات

التي تستهلكها الأحياء والفوسفات التي تنتج أثناء عملية المعدنة .

٢- دورة الكربون والأكسجين :

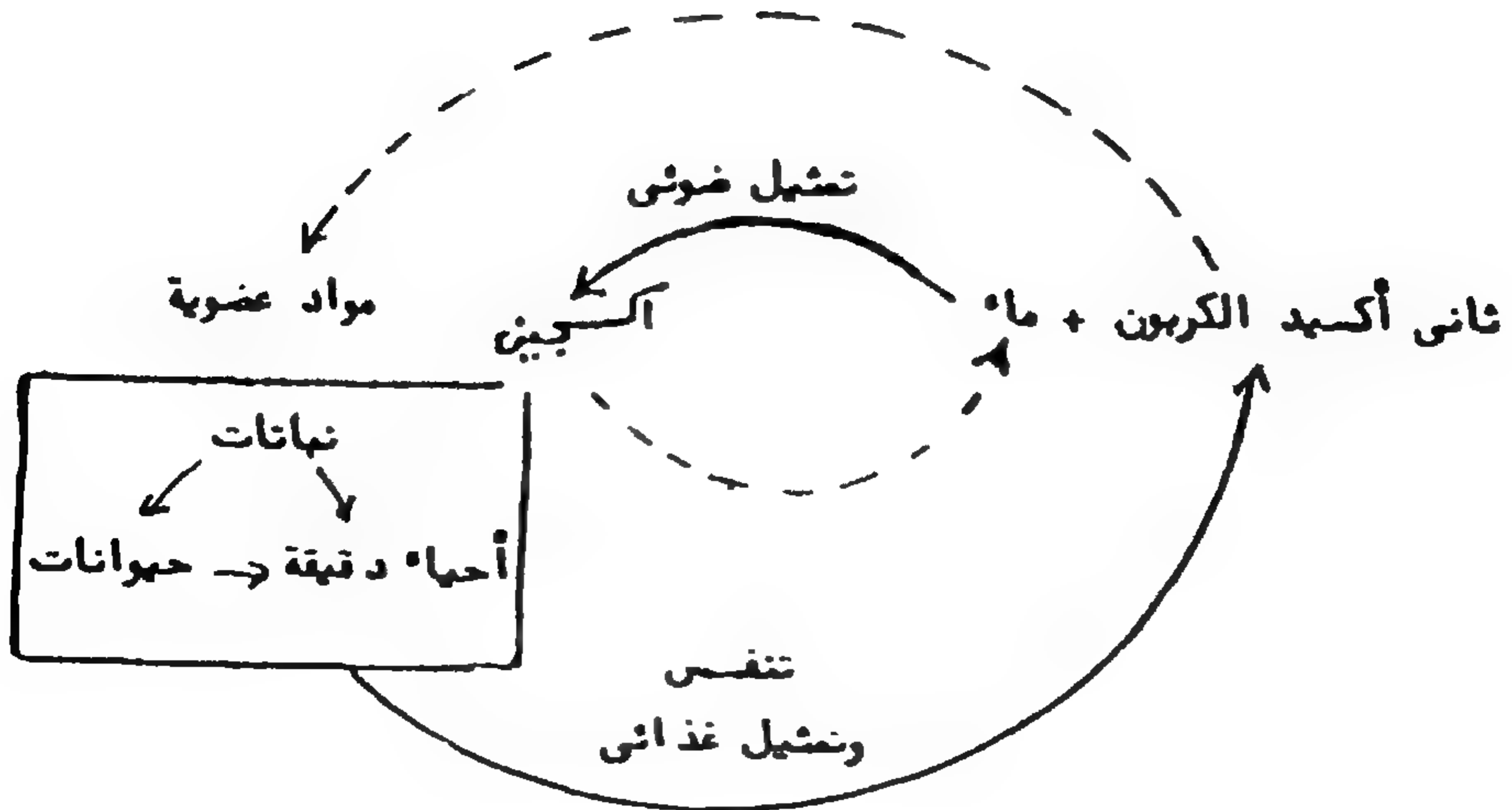
يتم التحول الدورى لكلا من الكربون والأكسجين أساسا بواسطة عمليتين أساسيتين الأولى منهما هي التمثيل الضوئى والثانية هي التنفس والاحتراق ، فمن جهة يتم فى التمثيل الضوئى تحويل الصورة المؤكسدة للكربون (وهي ثانى أكسيد الكربون CO_2) الى صورة مختزلة وهي المركبات العضوية المختلفة $(CH_2O)_N$ كما تتحول الصورة المختزلة للأكسجين (وهي الماء H_2O) الى صورة مؤكسدة وهي الأكسجين الجزيئى O_2 ، ولا يغيب عن الذهن هنا أن بعض الأحياء الدقيقة ذاتية التغذية تستطيع اختزال ثانى أكسيد الكربون CO_2 الى مواد عضوية مع أكسدة مواد أخرى غير الأكسجين المختزل (الماء) . ومن أمثلة ذلك تلك المواد المؤكسدة الأخرى كالأيديروجين H_2 وأملاح الحديدوز Fe^{+2} وأملاح النتريت NO_2^- وكبريتور الهيدروجين H_2S وغيرها . ومن جهة أخرى يؤدى التمثيل الغذائى (الأيض) $Metabolism$ - والمرتبطة مباشرة أو غير مباشرة باختزال الأكسجين - للأحياء غير ذاتية التغذية الى اكمال دورة الكربون والأكسجين مولدا الاحتياجات الأساسية للتمثيل الضوئى وهي ثانى أكسيد الكربون والماء .

ويتم التمثيل الضوئى من ناحية بواسطة الطحالب والنباتات الخضراء لانتاج المواد العضوية من ثانى أكسيد الكربون والماء ، أما عمليات التمثيل الغذائى والتنفس فتتم بواسطة النباتات والطحالب والحيوانات التي تتغذى على النباتات والطحالب مؤدية الى تحويل نسبة بسيطة من المواد العضوية الى ثانى أكسيد الكربون وماء كما أن نسبة بسيطة أخرى من المواد العضوية تحترق بوسائل مختلفة فى الطبيعة ، ولكن الجزء الأعظم من المواد العضوية يتحول الى ثانى أكسيد الكربون وماء بواسطة الأحياء الدقيقة وفق الشكل (١-٢) .

يحتوى الهواء بالحجم على حوالى ٣.٠٪ ثانى أكسيد كربون وهذا التركيز ثابت نسبيا كنتيجة للاتزان بين عمليات التمثيل الضوئى والمعدنة أو التمثيل الغذائى (الأيض) وعند اذابة ثانى أكسيد الكربون فى ماء خفيف القلوية تتكون أملاح البيكربونات (HCO_3^-) وأملاح الكربونات CO_3^{2-} وفقا للمعادلات الآتية :



شكل ١-٢ : دورة الكربون والأوكسجين وقد وضحت خطوات الأكسدة بخطوط متصلة ، أما خطوات الاختزال فقد وضحت بخطوط متقطعة .



وعلى ذلك فان أملاح البيكربونات تعمل كمصدر لثاني أكسيد الكربون للأحياء المائية الممثلة للضوء . وتحتوى مياه البحار على حوالى ٠.٠٢ ر مولر من أملاح البيكربونات ولذلك تعتبر المحيطات كمستودع احتياطي لغاز ثاني أكسيد الكربون فى الهواء الجوى محتفظة بتركيز منخفض وثابت نسبيا .

ويمكن ايضاح أهمية دورة الكربون بمعرفة نسبة ثاني أكسيد الكربون فى الهواء الجوى وهى نسبة بسيطة (٠.٣ ر %) واذا لم تتجدد باستمرار فانها لا تكفى المستوى الحالى من التمثيل الضوئى الذى يحدث على الأرض مدة تزيد عن عشرون عاما .

المعدنة ونتاج ثانى اكسيد الكربون :

وقد يكون من المفيد توجيه عناية القارئ الى أن عمليات التنفس والتمثيل الغذائى للأحياء المختلفة تؤدى لتحويل المواد العضوية الى ثانى أكسيد كربون وماء بما فى ذلك نشاطات الأحياء الدقيقة التى تتغذى على الأجسام الميتة للانسان والحيوان والنبات على أنه لا يجب أن يغيب عن الذهن أن الأحياء الدقيقة التى لا تنتج أكثر من ثانى أكسيد كربون وماء كنواتج للتنفس يتجه جزء من المادة العضوية المستعملة لبناء الخلايا النامية نفسها ، ولكن حتى تلك الخلايا فى النهاية تموت وتصبح هى نفسها غذاء لأحياء أخرى وهكذا . . . أما فى التنفس اللاهوائى فانه كثيرا ما ينتج مركبات أخرى ثانوية غير ثانى أكسيد الكربون وهذه المركبات الأخرى تستخدم بواسطة أحياء أخرى حتى يتم التحول فى النهاية الى ثانى أكسيد كربون ويتوقف نوع الأحياء الدقيقة اللاهوائية التى تنمو على مدى توفر مادة بديلة مستقبلية لأزواج الالكترونات الناتجة أثناء التنفس . وقد تكون هذه المواد اما نترات أو كبريتات SO_4^{2-} أو غيرها . . .

دور الأحياء الدقيقة في تخزين الكربون في صورة غير عضوية :

تذوب نسبة من ثاني أكسيد الكربون من الهواء الجوي في مياه البحار والمحيطات مكوناً أيونات الكربونات كما سبق الإشارة إليه ، عندما تتفاعل أيونات الكربونات CO_3^{2-} مع أيونات الكالسيوم Ca^{2+} في مياه المحيطات والبحار تتكون كربونات الكالسيوم الغير ذائبة والتي تترسب وبذلك فإن نسبة من ثاني أكسيد الكربون تتحول الى صخور كلسية ، وهذه الصخور لا تمثل مصدراً مباشراً لثاني أكسيد الكربون للأحياء المشكلة للضوء . وبذلك تنقص كمية ثاني أكسيد الكربون المتاحة للتمثيل الضوئي . ولكن معظم هذا الكربون المترسب في صورة صخور كلسية يدخل دورة الكربون ثانية خلال عمليات التحات أو التعرية الجوية : كما تذوب كربونات الكالسيوم بتغيير درجة تركيز أيون الأيدروجين pH وتحدث التغيرات في رقم الـ pH بواسطة العديد من الأحياء الدقيقة ، فالأحياء الدقيقة التي تنتج الأحماض أثناء عملية التآز (النترسة) Nitrification وأكسدة الكبريت Sulfur Oxidizing وكذلك بعض التخمرات الأخرى كلها تؤدي الى خفض رقم الـ pH مما يؤدي الى اذابة الصخور الكلسية وادخال ثاني أكسيد الكربون مرة ثانية في دورة الكربون .

كما أن بعض الأحياء الدقيقة قد تقوم بدور معاكس عن طريق رفع رقم الـ pH مؤدية الى ترسيب كربونات الكالسيوم ، ومن أمثلة ذلك الأحياء الدقيقة التي ينتج عنها اختزال أملاح الكبريتات Sulfate reducing أو اختزال أملاح النترات Denitrification فينتج عن ذلك زيادة القلوية في الوسط وترسب ملح كربونات الكالسيوم .

٣- دورة النيتروجين :

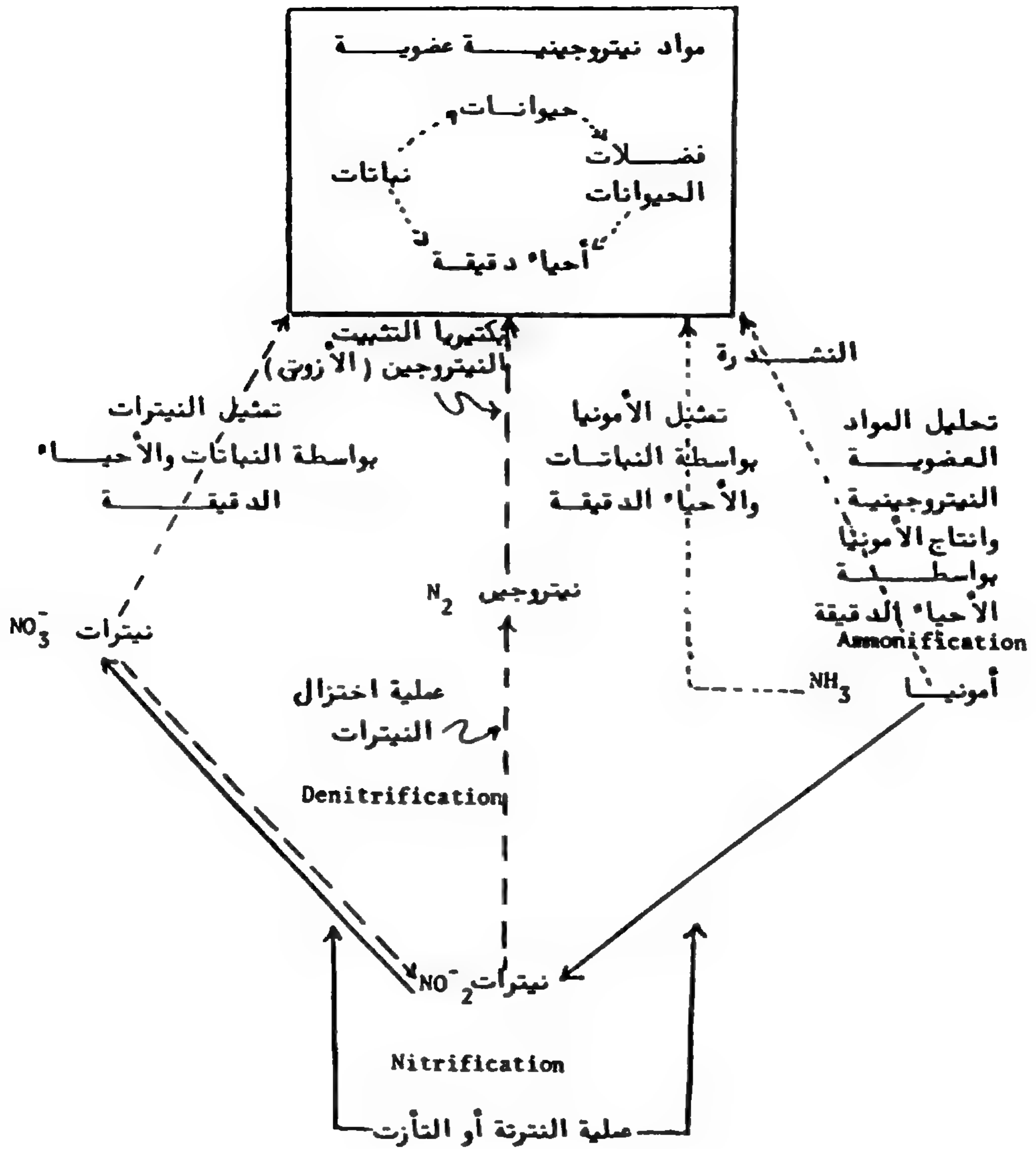
بالرغم من توفر النيتروجين الجزيئي N_2 في الطبيعة مكوناً حوالي ٨٠% بالحجم من هواء الغلاف الجوي للأرض . إلا أنه غاز خامل كيميائياً

وغير مناسب كمصدر نيتروجيني لمعظم صور الحياة على الأرض . فكل الحيوانات والنباتات وعدد كبير جدا من الأحياء الدقيقة تعتمد فسي احتياجاتها من النيتروجين على نيتروجين مرتبط أو نيتروجين سبـق تثبيته ، ولكن نظرا لندرة النيتروجين المرتبط في صورة أمونيا أو نترات أو حتى في صورة عضوية ، فان المصدر النيتروجيني كثيرا ما يصبح عاملا محـددا لنمو الأحياء وازدهارها ، ولذلك فان دورة النيتروجين تعتبر على درجة كبيرة جدا من الأهمية في تزويد سائر الأحياء بالمصادر المناسبة من النيتروجين . والشكل (٢-٢) يوضح دورة النيتروجين . وفيما يلي نوضح أهم معالمها :

أ- تثبيت النيتروجين : Nitrogen Fixation

٨
تقدر كمية النيتروجين التي تمر خلال دورة النيتروجين بحوالي ١٠ الى ١ طن سنويا . ونظرا لتوفر النيتروجين الغازي بكميات كبيرة فانه يبدو أن الخطوة المحددة في دورة النيتروجين هي خطوة تثبيـت النيتروجين ، وعليها تعتمد باقي الدورة . وهذه الخطوة تتم فـي الطبيعة بواسطة بعض أنواع البكتيريا ولو أن نسبة بسيطة (٥٪ من مجموع النيتروجين المثبت) يتم تثبيته عن طريق البرق Lightning والأشعة فوق البنفسجية وبعض آلات الاحتراق الداخلي . كما تساهم صناعة الأسمدة في تثبيت ما لا يزيد عن ٥٪ من مجموع النيتروجين المثبت سنويا على سطح الكرة الأرضية . ومن ذلك يتضح أن أكثر من ٩٠٪ من النيتروجين المثبت يتم بواسطة مجموعتين من البكتيريا :-

- (١) تقوم المجموعة الأولى من البكتيريا بتثبيت النيتروجين وهي حرة المعيشة Free living ويسمى التثبيت النيتروجيني غير التعاوني Non symbiotic nitrogen fixation ومن أمثلة البكتيريا التي تقوم به البكتيريا الخضراء المزرقـة أنابنا Anabaena ، ونوستوك Nostoc وعدد آخر من البكتيريا منها ما هو هوائي مثل الأزوتوباكتر Azotobacter وببيرينكيا Beijerinckia باسيلس



شكل ٢-٢ : دورة النيتروجين مثلت خطوات الأكسدة بأسهم مستمرة ، وخطوات الاختزال بأسهم متقطعة ، والتفاعلات التي لا يحدث فيها تغير في مستوى الأكسدة بأسهم متقطعة .

بوليمكسا Bacillus polymyxa ومنها ما هو لا هوائي مثل بعض البكتيريا الممثلة للضوء وبعض أفراد الجنس كلوستريديم Clostridium.

(٢) تقوم المجموعة الثانية من البكتيريا بتثبيت النيتروجين أثناء معيشتها معيشة تكافلية مشاركة مع نبات ويسمى التثبيت النيتروجيني التعاوني Symbiotic Nitrogen fixation وأكثر البكتيريا شهرة في هذا النوع من التثبيت النيتروجيني هي أفراد الجنس رايزوبيوم Rhizobium والتي تغزو الشعيرات الجذرية للنباتات البقولية وتكون ما يعرف باسم العقد Nodules الجذرية . ويتم تثبيت النيتروجين في هذه العقد الجذرية بواسطة البكتيريا بينما يكون دور النبات هو تزويد البكتيريا بالوسط (أو البيئة) المناسبة التي تشجع تثبيت النيتروجين .

والتثبيت النيتروجيني التعاوني بواسطة الرايزوبيوم والبقوليات أكثر بكثير مما يتم بواسطة الأحياء الدقيقة حرة المعيشة . ولما كان تثبيت النيتروجين في صناعة الأسمدة يتطلب مصاريف مرتفعة وكميات كبيرة من الطاقة . . ونظرا لمشاكل نقص الغذاء وصفة خاصة البروتينات فإن التثبيت النيتروجيني التعاوني يشكل أهمية خاصة لسد النقص في الغذاء البروتيني للإنسان وقد أصبح هذا الموضوع محور العديد من الدراسات بهدف استنباط نباتات قادرة على المعيشة تكافليا مع بعض البكتيريا المثبتة للنيتروجين . وقد أمكن فعلا استنباط العديد من تلك النباتات ولكن ليس بينها حتى الآن نباتات أحد محاصيل الحبوب الرئيسية كالقمح أو الذرة أو الأرز أو حتى محاصيل العلف مثل الحشيش الأخضر .

وكما رأينا فإن النباتات تعتمد على النيتروجين المثبت أو على أملاح الأمونيوم أو أملاح النترات وكذلك العديد من الأحياء الدقيقة . كما أن بعض الأحياء الدقيقة تستخدم نيتروجين عضوي كمصدر نيتروجيني .

وتستخدم المواد النيتروجينية العضوية التي تبنيتها النباتات والطحالب كمصدر للنيتروجين لأفراد المملكة الحيوانية . وعند هضم

المواد العضوية النيتروجينية في أفراد المملكة الحيوانية فان النيتروجين يظل عند نفس مستوى الأكسدة تقريبا عند دخوله في بناء أنسجة الحيوان . والحيوانات تفرز نسبة لا بأس بها من المواد النيتروجينية بصور مختلفة في فضلاتها ، وعندما تحتوى الفضلات على مواد عضوية نيتروجينية فانها سريعا ما تتحول من خلال المعدنة الى أمونيا وثاني أكسيد الكربون ، أما المركبات العضوية التي يتم تثبيتها في جسم النبات والحيوان فانها لا تتطلق الا بعد موت هذه الكائنات وتحللها بواسطة الأحياء الدقيقة في أثناء خطوة المعدنة الى أمونيا وثاني أكسيد الكربون . وتسمى العملية التي تؤدي الى تحلل البروتينات المختلفة والأحماض النووية الى أمونيا باسم النشدة *Ammonification* :

ب - النشدة : *Ammonification*

وهي عملية تحويل البروتينات الى أمونيا . وقد تتم هذه العملية لا هوائيا فتسمى تعفن وينتج عنها روائح كريهة ولا تكون مصحوبة بتكوين الأمونيا مباشرة ، بل تتحول البروتينات الى أمينات ومركبات وسطية مختلفة ، والتحلل اللاهوائي للبروتينات عادة يحدث بواسطة أفراد الجنس *Clostridium* . وفي وجود الهواء تتأكسد هذه الأمينات والمركبات الوسطية بواسطة بكتيريا أخرى وتنتج أمونيا وثاني أكسيد الكربون .

ج - النترة : *Nitrification*

وهي عملية تحول الأمونيا NH_3^+ الى نترات NO_3^- وتتم هذه الأكسدة في الطبيعة بواسطة مجموعتين من البكتيريا على درجة عالية من التخصص ، وكلاهما هوائى لجبارى وذاتى التغذية كيميائى *Chemoautotrophic* وتحدث عملية النترة في مرحلتين .

في المرحلة الأولى . . تتأكسد الأمونيا الى نيتريت (NO₂⁻) Nitrite بواسطة البكتيريا التابعة لجنس نيتروزوموناس Nitrosomonas .

وفي المرحلة الثانية . . يتحول النيتريت الى نترات (NO₃⁻) Nitrate بواسطة البكتيريا التابعة لجنس نيتروباكتر Nitrobacter . وكنتيجة مباشرة لنشاط هاتين المجموعتين من البكتيريا ، وتتحول الأمونيا (الناتجة عن خطوة المعدنة Mineralization للمواد العضوية) الى نترات في التربة . وتستخدم النترات كمصدر نيتروجين أساسى لنمو النباتات في تلك التربة . والأساس في تسميد التربة بالسماذ البلدى (فضلات الحيوانات والطيور) يعتمد أساسا على المعدنة بالأحياء الدقيقة والتي تتضمن النشطرة (أو تحول النيتروجين العضوى الى أمونيا) ثم تحول تلك الأمونيا الى نترات (" النترتة ") ، كما أن السرى بمحاليل مخففة من الأمونيا — وهو أحد الطرق الحديثة في التسميد وخاصة في الأراضى الحمضية — يعتمد بصفة مباشرة على عملية النترتة . والأمونيا هى أكثر صور النيتروجين المرتبط تركيزا للنيتروجين — اذ تحتوى على حوالى ٨٢٪ نيتروجين بالوزن ، ولكن الأمونيا يعاب عليها أنها أقل ثباتا في التربة ، أما النترات فيعاب عليها شدة الذوبان في الماء ، ولذلك فانه يسهل فقد ها من التربة في مياة الصرف ، ولذلك فان كميات ثابتة من النترات يتم ازالتها باستمرار من القارات الى مياه البحار والأنهار والمحيطات . وقد لوحظ في بعض مواقع خاصة مشسل المناطق شبه القاحلة Semi arid في دولة شيلي كميات كبيرة من النترات ترسبت في التربة كنتيجة لغسل النترات بواسطة الماء ثم تبخر الماء السطحى ، وقد استخدمت تلك النترات كمصدر قيم للتسميد لفترة من الزمن . الا أن أهمية هذا المصدر للتسميد قد تضاءلت كثيرا ففى الوقت الحالى نظرا لامكانية صناعة النيتروجين المرتبط من النيتروجين الجوى والمتوفر بكثرة في جميع بقاع الأرض .

د - اختزال النيترات: Denitrification

يستطيع عدد من البكتيريا الهوائية استعمال النيترات بديلاً للأكسجين - وذلك كمستقبل لأزواج الإلكترونات في عمليات التنفس عند عدم توفر الأكسجين (عندما تكون الظروف لا هوائية) . ولذلك عندما تتحلل المواد العضوية في التربة أو الماء ، ويقل تركيز الأكسجين الى حد الانعدام ، فان بعض البكتيريا الهوائية تستمر في النمو اذا وجدت أملاح النيترات وذلك عن طريق التنفس اللاهوائي ، وينتج عن ذلك اختزال النيترات . وتختلف نواتج هذا الاختزال ، فبعض البكتيريا مثل بكتيريا القولون *Escherichia coli* تستطيع اختزال النيترات NO_3^- الى مستوى النيتريت NO_2^- بينما تستطيع بكتيريا سود وموناس أريجينوسا *Pseudomonas aeruginosa* اختزال النيترات الى مستوى النيتروجين الغازي الذي يفقد من التربة أو الماء ، وبذلك فان النيتروجين المرتبط NO_3^- يفقد الى الهواء الجوي في صورة غاز نيتروجين . ولذلك قد تسمى هذه العملية أحيانا عملية نزع النيترات Denitrification وهذه العملية هامة جدا من الناحية البيئية ، فهي تؤدي الى فقد عنصر غذاء هام للنباتات من التربة ، وينتج عن ذلك انخفاض في انتاجية التربة من المحاصيل ، وقد تؤدي عملية اختزال النيترات المذكورة - تحت بعض الظروف - الى فقد أكثر من نصف سواد النيترات الذي يضاف للتربة بهدف زيادة انتاجيتها من المحاصيل ، ورغم هذا فقد الواضح الناتج عن اختزال النيترات بواسطة الأحياء الدقيقة ، الا أن هذه العملية على درجة كبيرة من الأهمية في الطبيعة فأملاح النيترات شديدة الذوبان في الماء ، لذلك فانها تفقد باستمرار من القارات الى المحيطات . وبدون خطوة اختزال النيترات المذكورة فان كل النيتروجين في الطبيعة بما في ذلك نيتروجين الهواء الجوي سيتراكم في قاع المحيط في صورة نيترات مؤديا الى اختفاء كثير من صور الحياة على الأرض . ولكن خطوة اختزال النيترات تؤدي الى إعادة توليد النيتروجين منها وإطلاقه في الهواء الجوي لاعادة استخدامه بواسطة سائر الأحياء وتتم هذه العملية أساسا بواسطة الأحياء الدقيقة كما سبق الذكر .

٤- دورة الكبريت:

الكبريت هو أحد المكونات الهامة للكائنات الحية على اختلافها . وهو موجود بكثرة في القشرة الأرضية اما في صورة أملاح كبريتات ذائبة أو في صورة كبريت مرتبط في حالة مركبات عضوية . كما يوجد أيضا في صورة كبريتور الأيدروجين H_2S كنتيجة لنشاط بعض الأحياء الدقيقة أو كنتيجة لنشاط بعض البراكين . ودورة الكبريت هي الدورة التي يتأرجح فيها الكبريت بين الحالة المؤكسدة والمختزلة خلال الأحياء المختلفة في الطبيعة ، وهي موضحة في الشكل (٢-٣) وهي تشبه الى حد كبير دورة النيتروجين التي سبق شرحها .

تقدر كمية الكبريت التي يتم تحويلها سنويا الى كبريتور الأيدروجين H_2S (ينطلق في الهواء الجوي) بواسطة الأحياء المختلفة الى حوالي ٩٠ مليون طن ، علاوة على حوالي ٥٠ مليون طن كبريت تتحول الى ثاني أكسيد الكبريت SO_2 كنتيجة لحرق زيوت الوقود المستخرجة من آبار البترول ، وتنتج كميات أصغر من كلا الغازين كبريتور الأيدروجين وثاني أكسيد الكبريت (٧٠ مليون طن) كنتيجة للنشاطات البركانية . أما كبريتور الأيدروجين فيتأكسد بسرعة الى ثاني أكسيد الكبريت أو ثالث أكسيد الكبريت ، وعند ذوبان هذه الغازات في الماء فانها تكون اما حمض الكبريتوز أو حمض الكبريتيك على التوالي . وقد يتم تعادل جزء من هذه الأحماض بواسطة الأمونيا الموجودة في الهواء الجوي ، ولكن أغلب الأحماض تتساقط ثانية على سطح الأرض وتؤدي الى اذابة بعض الصخور والتماثيل المكونة من الأحجار . وقد تأثرت كثيرا في الوقت الحاضر كثير من الزراعات نتيجة سقوط الأمطار الحمضية (الأمطار التي تحتوى على حمض الكبريتيك الناتج من ذوبان ثالث أكسيد الكبريت المتصاعد من مداخل احتراق الزيوت الغنية في الكبريت) . وفيما يلي أهم ملامح دورة الكبريت :

أ - استعمال الكبريتات كمصدر للكبريت Sulfate assimilation

للاحياء الدقيقة :

تستخدم أملاح الكبريتات SO_4^{2-} كمصدر للكبريت للنباتات والأحياء الدقيقة مثلها في ذلك مثل أملاح النترات NO_3^- كمصدر للنيتروجين ، ويتشابه استعمال أملاح الكبريتات وأملاح النترات بواسطة الأحياء الدقيقة في نقطتين أساسيتين هما :

(١) أن ذرة النيتروجين في جزيء النترات وذرة الكبريت في جزيء الكبريتات يجب أن يختزلا قبل ادخالهما في تركيب المواد العضوية الخلوية ، وذلك لأن الكبريت يتواجد في معظم الأحوال في جميع الأحياء بصورة مختزلة SH أو $-S-S-$.

(٢) في كلا الحالتين (النيتروجين والكبريت) تستخدم كمية كافية فقط للنمو دون أن تفرز الخلايا أى فضلات نيتروجينية أو كبريتية مختزلة في الوسط المحيط أو البيئة .

ب - تحول مركبات الكبريت العضوي وإنتاج كبريتور الأيدروجين :

أثناء عملية المعدنة Mineralization تتحلل المركبات العضوية المحتوية على الكبريت منتجة كبريت في الصورة المختزلة على صورة كبريتور الأيدروجين H_2S . وهذه الخطوة تشبه الخطوة المسماة النشيدة Ammonification في دورة النيتروجين والتي يتم أثناءها تحول النيتروجين من صورته العضوية إلى صورته المختزلة NH_3^+ .

ج - التكوين المباشر لكبريتور الأيدروجين من الكبريتات :

ان استعمال أملاح الكبريتات كمصدر للكبريت يؤدي إلى تحويل

الكبريتات الى كبريتور الأيدروجين تمهيدا لادخاله فى بناء الخلية .
ولكن انتاج كبريتور الأيدروجين من الكبريتات يتم بطريقة أخرى أكثر
مباشرة من خلال نشاط البكتيريا المختزلة للكبريتات . حيث تعمل
الكبريتات كمستقبل (بدلا عن الأكسجين) لأزواج الالكترونات الناتجة
فى التنفس فتتحول الكبريتات الى كبريتور الأيدروجين ، وتشبه هذه
الخطوة ما يحدث من اختزال النترات فى دورة النيتروجين ونشاط
البكتيريا المختزلة للكبريتات يكون واضحا فى الطين الموجود فى قاع
المستنقعات الغنية فى الكبريتات حيث تظهر رائحة كبريتور الأيدروجين
الكريهة كما تظهر الطين بلون أسود واضح راجع لترسب كبريتور الحديد
الأسود .

د - أكسدة كبريتور الأيدروجين والكبريت :

ينتج كبريتور الأيدروجين فى الطبيعة كنتيجة لتحلل المركبات
العضوية المحتوية على كبريت أو كنتيجة لاختزال الكبريتات بواسطة بعض
الأحياء الدقيقة ، وكذلك بواسطة النشاطات البركانية . ويتحول كبريتور
الأيدروجين الناتج الى أملاح كبريتات ثانية فيما عدا كمية صغيرة منه
تتحول الى صور غير ذائبة من أملاح الكبريتور أو عنصر الكبريت . وتحدث
أكسدة كبريتور الأيدروجين أو عنصر الكبريت بواسطة بكتيريا مثله للضوء
من النوع ذاتى التغذية كيميائيا . وحيث أن أيون الأيدروجين ينتج
فى التفاعل الناتج عن أكسدة أملاح الكبريتور والكبريت ، فإن التربة
تصبح حمضية ، ولذلك فإن اضافة الكبريت تستخدم عادة فى الأراضى
القلوية بهدف انتاج حموضة لتحسين خواص التربة .

وبعد مراجعة الدور الذى تلعبه الأحياء الدقيقة فى دورات
العناصر يتضح أن الأحياء الدقيقة تلعب دورا هاما فى التغييرات
الحيوية التى تتعرض لها عناصر الحياة على الأرض . ومن هنا تكسب
أهميتها المطلقة فى نظام الحياة على الأرض ، ذلك بأن الكائنات الراقية
سرعان ما ينتهى وجودها بدون الأحياء الدقيقة .

ثانياً : دور الأحياء الدقيقة في خصوبة التربة

وضع من مناقشة دورة العناصر في الطبيعة الدور الكبير الذي تلعبه الأحياء الدقيقة في خصوبة التربة المختلفة . فبينما تستطيع بعض الأحياء الدقيقة زيادة خصوبة التربة بزيادة النيتروجين المرتبط مثل البكتيريا المثبتة النيتروجين أو بكتيريا النترتة (التي تؤدي الى تحويل الأمونيا الى نترات) فان بعض البكتيريا تزيد خصوبة التربة نتيجة تحسين خواص تلك التربة ، فاذا كانت التربة قلوية الخواص فانه يعتمد الى اضافة الكبريت بهدف تشجيع نمو البكتيريا التي تقوم على أكسدة الكبريت لانتاج غازات ثاني اكسيد الكبريت وثالث اكسيد الكبريت ذات الصفات الحمضية التي تحسن صفات التربة وتزيد خصوبتها ، كما أن الأراضي الحمضية كثيراً ما تروى بمحاليل مخففة من الأمونيا بهدف زيادة محتوى الأرض من النترات بفعل بكتيريا النيتروزوموناس والنيتروباكتر . ويمكن الرجوع الى الجزء أولاً لمعرفة المزيد من المعلومات في هذا الصدد و بالعكس من ذلك فان تشجيع نمو البكتيريا التي تؤدي الى اختزال النترات يؤدي الى فقد في خصوبة الأراضي كما سبق ذكره .

كما تؤدي الظروف البيئية للأراضي الى تشجيع نمو أحياء دقيقة معينة دون أحياء أخرى . . ولذلك فانه كثيراً ما يمكن التحكم في صفات التربة باتباع أساليب معينة كالحرث والرى وغيرها ، وعلى سبيل المثال فان اغراق الأراضي الغنية في المواد العضوية يؤدي الى تقليل كمية الأكسجين المتاحة للأحياء الدقيقة في مثل تلك الأراضي بما يشجع نمو البكتيريا اللاهوائية والتي تنتج أحماض عضوية مثل حمض الخليك Acetic Acid والفورميك Formic والبيوتريك Butyric كما تتكون أحياناً أحماض اللاكتيك Lactic والسكسينك Succenic ومثل تلك المركبات تكون عاملاً محدداً لنمو الجذور . بينما يؤدي الحرث الجيد للتربة الى حدوث تهوية وتشجيع نمو الميكروبات الهوائية بما يقلل من عمليات اختزال النترات والكبريتات وغيرها .

ثالثاً : دور الأحياء الدقيقة في

تكوين الوقود الحفري

(زيت البترول والغاز واللحم)

تتراكم الأحماض العضوية في الأراضي العضوية المغمورة بالماء نتيجة استهلاك الأكسجين بواسطة ميكروبات التربة الهوائية فيشجع ذلك نمو الميكروبات اللاهوائية التي تنتج الأحماض العضوية بما يؤدي الى تراكم الدبال Humus وتسمى هذه الظاهرة باسم Beat bogs ، ويؤدي تراكم تلك المواد العضوية على مر السنين في تلك الظروف اللاهوائية الى تكوين رواسب الفحم والزيت وغاز الوقود والتي قد تمتد لمئات الأمتار تحت سطح الأرض ، ولو أن هذا هو ما يعتقده الكثير من العلماء ، الا أن انتاج البترول بواسطة الأحياء الدقيقة مازال مسألة معلقة حيث لم ينجح أحد في انتاج البترول في المختبر بواسطة الأحياء الدقيقة بكميات تجارية ، ولكن خواص زيت البترول تجعل من المحتمل أن يكون قد تكون من مواد عضوية كما يأتي :

(١) الترسبات البترولية غنية بالبكتيريا اللاهوائية وبخاصة البكتيريا المختزلة للكبريتات . . والمعروف حالياً أن البكتيريا المختزلة للكبريتات يرتبط وجودها برواسب الكبريت . وقد وجد العلماء - فضلاً عن ذلك - بعد نجاحهم في الكشف عن مركبات شبيهة بالبترول في مزارع الميكروبات أن هذه المركبات تكونت في مزارع مختلفة تحتوى على البكتيريا المختزلة للكبريتات .

(٢) يمكن الكشف في البترول الخام عن مركبات تسمى البورفيرينات porphyrins وهي مواد كيميائية مشتقة من الانزيمات التنفسية للميكروبات الحية ، والمعروف أنها لا توجد بمعزل عن الكائنات الحية .

(٣) أن بعض المواد الكربونية في البترول تكون نشطة ضوئياً بما يدل أنها نشأت من أنظمة بيولوجية .

رابعاً : دور الأحياء الدقيقة في

التخلص من فضلات المجارى وفضلات المصانع

نتيجة لزيادة تركيزات السكان في المدن يمثل التخلص من الفضلات مشكلة خاصة ، وقد كان ذلك يسيرا في الماضي عندما كانت أعداد السكان أقل مما هي عليه الآن . فقد كان الرومان واليونانيون يبنون حماماتهم ودورات المياه فوق المياه الجارية أو قريبا منها . وفي العصور الوسطى خصصت زوايا مهجورة تستخدم كدورات مياه ، وكانت القمامة تلقى في الشوارع .

ولما انتصف القرن التاسع عشر وزاد عدد السكان في المدن نتيجة الثورة الصناعية أصبح من الواضح أن هذا السلوك خطير كما أنه غير مقبول . وكانت أمراض التيفود والكوليرا متفشية ، وأصبح نهر التيمز (في بريطانيا) في عام ١٨٦٠ مصبا مفتوحا عظيما للمجارى ، وكانت تجرى فيه نفايات لندن التي تجرفها مياه الأمطار .

ثم استخدمت فضلات المجارى لرى بعض الزراعات لاحتوائها على نسبة مرتفعة من المواد العضوية . ولكن لأسباب تستدعيها الصحة العامة للناس والمحافظة على البيئة ولا مكانية إعادة استعمال المياه أصبح من الضروري استنباط وتطوير طرق صحية لمعالجة مياه المجارى والاستفادة من الفضلات . وقد صممت مصانع لمعالجة المجارى بحيث تستفيد من قدرة الأحياء الدقيقة في معدنة المواد العضوية الموجودة في فضلات المجارى والاستفادة من هذه الفضلات في إنتاج غاز الوقود (الميثان) وتنقية المياه بالطرق المناسبة .

ومما يجدر ذكره أن مجرد التخلص من الأحياء الدقيقة والفضلات العضوية في مياه المجارى ليس كافيا . فقد ثبت أن مثل تلك المياه (بعد إزالة الأحياء الدقيقة والفضلات العضوية) تحتوى على نسب مرتفعة من أملاح النترات والفوسفات . وعند صرف مثل تلك المياه في البحيرات أدى ذلك الى ازدهار نمو الطحالب ازدهارا كبيرا أدى الى

تعكر البحيرات وتلونها بلون الطحالب النامية وأدى ذلك الى انخفاض تركيز الأكسجين من مياه البحيرات مما هدد حياة الأسماك والحياة البحرية في البحيرات . وقد حدث ذلك على وجه الخصوص في البحيرات العظمى Great lakes في الولايات المتحدة وخاصة بحيرة ايسرى Erie كما أن المياه المحتوية على تركيزات مرتفعة من النترات ضارة بالانسان أيضا ، لذلك نصت التشريعات الحديثة في الولايات المتحدة على أن المياه المستخدمة للشرب لا يجب أن تحتوى على أكثر من ١٠ ملليجرام في اللتر .

ولا يقتصر استخدام الأحياء الدقيقة على التخلص من فضلات المجارى فقط ، بل أن النفايات السائلة (الناتجة عن المذابح وكثير من مصانع الأغذية والألبان وغيرها من الصناعات التى تنتج نفايات غنية فى المواد العضوية بحيث يصعب استيعابها فى مصانع معالجة مياه المجارى العادية) يتم معالجتها أيضا بالطرق البيولوجية وتشتتر تشريعات كثير من الدول اقامة وحدات لمعالجة الفضلات لمصانع معينة مثل مصانع الأغذية ، وتسمى العملية باسم المعالجة البيولوجية للفضلات السائلة . وكثيرا ما تشكل فضلات المصانع عاملا محمدا لقيام صناعة ما . وتلجأ كثير من المصانع حاليا الى محاولة الاستفادة من الفضلات بتحويلها الى منتجات ثانوية ذات قيمة اقتصادية بواسطة الأحياء الدقيقة . فالمولاس الناتج من صناعة السكر قد يستخدم لانتاج الكحول الصناعى أو لانتاج الخميرة .

كما تستخدم فضلات مصانع تعليب وتجميد الأغذية لانتاج مركبات عضوية مختلفة سنتعرض لها فيما بعد . ويتحدد نجاح كثير من الصناعات وقد رتها على المنافسة بمدى الاستفادة من المخلفات الثانوية .

كما تستخدم سلالات خاصة من البكتيريا للتخلص من فضلات كيميائية لمصانع المواد الكيميائية أو مصانع الورق التى تنتج فضلات سائلة تحتوى على مواد سامة أو مشبعة لنشاط البكتيريا ، ولذلك تنتخب السلالات الخاصة من البكتيريا التى تقاوم فعل مثل تلك المواد السامة .

خامساً : دور الأحياء الدقيقة في التخلص من فضلات البترول والهيدروكربونات

تقوم ناقلات البترول الضخمة بغسيل مستودعاتها بمياه البحار والمحيطات أحيانا مسببة تلوث تلك المياه بالمواد البترولية المختلفة وهذه المخلفات البترولية يسهل معدنتها بالأحياء الدقيقة في زمن قصير نسبيا . ولكن غرق مثل تلك الناقلات المحملة بالبترول في البحار أو انسكاب كميات ضخمة من البترول في مياه البحار كثيرا ما يسبب مشاكل بيئية جمة إذ أن فعل الأحياء الدقيقة يكون عادة بطيئا على الهيدروكربونات البترولية ، كما أن معدنة هذه المكونات تتم بواسطة أحياء دقيقة هوائية اجبارية بما يسبب نقص تركيز الأكسجين في المياه مما يشكل خطورة على الحياة البحرية . وقد حدثت كارثة هائلة من ذلك النوع في ربيع عام ١٩٦٧م عندما تحطمت ناقلة بترول ضخمة تسمى كانيون Torrey Canyon على شاطئ إنجلترا الجنوبي الغربي وسكبت آلاف الأطنان من البترول في البحر لتلوث بذلك شواطئ إنجلترا وفرنسا ، وما يؤسف له أن المختصين في ذلك الوقت استخدموا المنظفات كعلاج طارئ لتنظيف الشواطئ ولم يكن ذلك من الحكمة في شيء لأن أغلب المنظفات عبارة عن مطهرات تؤخر أو تثبط عمل الأحياء الدقيقة . وقد أدى هذا التلوث ليس فقط إلى انزعاج الناس ، ولكن أيضا إلى قتل آلاف من طيور البحر والأسماك والمحار والقشريات .

ولا يقتصر التلوث بالهيدروكربونات على مياه البحار والمحيطات فقط ، بل إنه كثيرا ما تمتد للأراضي الزراعية فكثير من المبيدات الحشرية والفطرية ومبيدات الحشائش عبارة عن مواد محسورة من الهيدروكربونات ومدة تحليل هذه المركبات في التربة ينعكس على مدة بقاء تأثيرها كمبيدات للآفات ، ولذلك فإن استخدام الميكروبات للهيدروكربونات وللمركبات الأخرى المشابهة يصبح له أهمية زراعية وبيئية كبيرة ، وما يجدر ذكره هنا أن تلوث التربة في بلدة سماردن Smarden في مقاطعة كنت Kent في بريطانيا بمادة الفلوراسيتاميد — وهي مادة سامة قوية كانت تستخدم كمبيد حشري عام ١٩٦٣م — حدثت بالسلطات

الى ازالة التربة الملوثة كلها للتخلص من هذا المبيد مما كلف الكثير من الأموال ، وقد ثبت بعد ذلك بعض البكتيريا قادرة على تحليل المبيد الى مكونات غير سامة مما يوفر حلا سريعا وفعالا . وتوجد الآن امكانيات مشجعة بخصوص استخدام الميكروبات لازالة المواد السامة أو غير المرغوبة من البيئة الطبيعية ، ولكن هذه الامكانيات مازالت بغير استغلال كبير في الوقت الراهن . ، وتدل قصر مدة بقاء الأنسواع العديدة من الهيدروكربونات في التربة الى وجود مجموعات ميكروبية تقوم باستخدامها بشراة . فالمركبات التي يمكن للميكروبات استخدامها تشمل على البرافين والكيروسين والجازولين وزيت التشحيم المعدنية والأسفلت والقطران والمطاط الطبيعي والصناعي . كما يتحلل أيضا الميثان والايثان والبروبان والبيوتان والبنتان والهكسان وكثير من الهيدروكربونات ذات التركيب من نوع C_nH_{2n+2} .

وقد تصل الهيدروكربونات الى التربة في صورة زيت بترول خام أو غاز الوقود الطبيعي ، وذلك في المواقع القريبة من آبار البترول ، أو نتيجة رشح الأنابيب الناقلة له . وإذا زاد تلوث التربة بالبترول تتأثر النباتات بشدة ، وقد تنقضي فترة طويلة قبل أن تصلح الأرض للزراعة بطريقة اقتصادية مرة ثانية ، وذلك يعتمد بالطبع على كمية التلوث والطرق المستخدمة للتخلص منه .

وقد اقترح البعض امكانية الاستدلال على أماكن وجود البترول في الطبيعة بالكشف عن البكتيريا المؤكسدة لمكوناته . فان وجدت مثل تلك البكتيريا في منطقة ما فذلك يدل على احتمال وجود البترول في تلك المنطقة .

وقد أدى الاهتمام بموضوع تلوث البيئة الى الاهتمام باستخدام الأحياء الدقيقة لغاز الاثيلين ، فهذا الغاز من أكثر المركبات الهيدروكربونية في تلوث الهواء ، حيث أن هناك ملايين الأطنان المترية منه تنطلق الى الهواء باستمرار مع احتراق جازولين السيارات بصفة خاصة وبالرغم من ذلك فان معدل وجود هذا الغاز في الهواء الجوي خارج

المدن لا يتزايد بصفة مستمرة ، فهو يوجد بنسبة أقل من ٠.٠٥ ر.جزء في المليون وقد أوضحت نتائج الأبحاث الى أن عدم زيادة هذا الغاز في الهواء ترجع الى نشاط الأحياء الدقيقة الموجودة في التربة ، وتحتاج عمليات تمثيل هذا الغاز الى الأكسجين حيث تتوقف العملية فـسـى الظروف اللاهوائية .

سادساً : دور الأحياء الدقيقة في الاستفادة من الفضلات الزراعية وفضلات القمامة

تثبت النباتات كميات كبيرة من الطاقة الضوئية وثاني أكسيد الكربون في صورة طاقة كيميائية مخزنة في المادة العضوية لجسم النبات . ولكن جرت عادة الانسان على الاستفادة بنسبة صغيرة جدا من المادة العضوية للنبات كما هو الحال في محاصيل الحبوب كالقمح والأرز والذرة وغيرها حيث يتم الاستفادة من الحبوب فقط ، أما باقى النبات فيحرق أو يتم التخلص منه بطريقة أو بأخرى . ويمثل هذا اهدارا كبيرا لكميات كبيرة من الطاقة الموجودة في تلك المواد العضوية . وقد بدأت حاليا اتجاهات الأبحاث للاستفادة من هذه المخلفات الزراعية والتي تصل الى ملايين الأطنان سنويا . وأحد أهم هذه الاتجاهات هو تحويل هذه الفضلات الى بروتينات وحيدة الخلية Single cell protein وذلك بهدف الاستفادة منها ولو في صورة علف حيواني ، والذي يتحول بدوره الى لحم أو بيض أو لبن بواسطة الحيوانات المختلفة فيساعد بذلك في سد النقص في الغذاء العالمي .

كما يشكل تراكم القمامة مشكلة بيئية كبيرة بالنسبة للمدن المزدحمة بالسكان ، وكثيرا ما يتم تجميع هذه القمامة في أماكن خارج المدن ويتم حرقها ، وبالمثل فان حرق هذه القمامة يشكل فقدا في كميات كبيرة من المادة العضوية والتي يمكن الاستفادة منها عن طريق تحويل المسادة العضوية بها بواسطة الأحياء الدقيقة الى علف حيواني أو سماد أو غيرها

• • والمشكلة الأساسية في الاستفادة من القمامة ترجع الى تكوينها من مواد مختلفة قابلة وغير قابلة للتخمر ، علاوة على فضلات الأغذية ، حيث تحتوى القمامة علاوة على كثير من المواد غير القابلة للتخمر (يمكن اعادة استخدام بعضها) مثل الزجاجات الفارغة والعلب المعدنية والبلاستيكية وورق الجرائد والكتب والمجلات والثياب والمطاط وغير ذلك من المواد . وما زالت هناك دراسات كثيرة بهدف تقليل نفقات فرز القمامة الى مكوناتها وقد اقترح البعض أن يتم تجميع القمامة بواسطة نوعين من الأكياس بألوان مختلفة ، وليكن أحمر وأزرق مثلاً ، ويخصص اللون الأحمر على سبيل المثال للقمامة غير القابلة للتخمر والتي يمكن اعادة استخدامها، ويخصص اللون الأزرق للقمامة القابلة للتخمر مع عمل الحملة الدعائية المناسبة لتوعية الناس ، وبذلك يمكن توفير خطوة الفرز المبدئى للقمامة ، وهى خطوة مكلفة يتعذر معها حالياً الاستفادة من القمامة بطريقة اقتصادية .

ومما لا شك فيه أن اساءة استخدام الموارد الحالية لكوننا على النحو الذى يتجه اليه الناس حالياً سيجعل الاستفادة من القمامة بشقيها أمراً لا مفر منه حيث تحول القمامة القابلة للتخمر الى مصدر للطاقة أو علف حيوان بواسطة الأحياء الدقيقة ، أما القمامة غير القابلة للتخمر فيعاد استعمالها .

سابعاً : دور الأحياء الدقيقة فى الصناعات الغذائية وتلف الأغذية

استخدمت الخميرة من قديم الزمان لتحسين قوام الخبز وطعمه ، وتدل الدراسات على أن المصريين هم أول من استعمل الخميرة لتخمير الخبز وزيادة حجمه أثناء الخبز قبل ٦٠٠٠ عام . ثم انتشر استعمال الخميرة من هناك الى جميع مناطق العالم ، ويتم خلط خميرة الخباز Saccharomyces cerevisiae بالدقيق بعد ترطيبه بالماء لتكوين عجينة مناسبة القوام ثم تترك فى مكان دافئ ، وقد تضاف كميات صغيرة من السكر لتشجيع عمل الخميرة التى تقوم بعملية التخمر الكحولى منتجة

غاز ثانى اكسيد الكربون والكحول . ويتمدد غاز ثانى اكسيد الكربون اثناء الخبز مكسبا الخبز قواما أسفنجيا ، أما الكحول فيتطاير ولا يقتصر تأثير الخميرة على ذلك ، بل أنها تكسبه — أى الخبز — طعما مرغوبا لا يمكن تعويضه باستعمال مساحيق الخبز Baking powder التى تستخدم لانتاج غاز ثانى اكسيد الكربون فى بعض المخبوزات الأخرى .

أما استخدام الخميرة فى انتاج المشروبات الكحولية ، فقد تضاربت الآراء حول مصدره ، فالبعض يعتقد أنه بدأ فى مصر والبعض يعتقد أنه بدأ فى الصين . وعلى أى حال فإنه يتم تخمير عصائر الفاكهة أو المحاليل التى تحتوى على سكريات قابلة للتخمر بواسطة الخميرة فى ظروف لا هوائية فتنتج المشروبات الكحولية المختلفة . ومن البداية استخدمت هذه العملية للحصول على المشروبات الكحولية فقط ولكن بحدوث الثورة الصناعية زاد الطلب على الكحول كمذيب فتطورت مصانع تقطير الكحول من المواد المتخمرة تخمرا كحوليا .

كما استخدمت بعض الأحياء الدقيقة فى صناعات الأغذية ومنتجات الألبان فاستعملت بكتيريا حمض اللاكتيك فى انتاج الألبان المتخمرة (كالزبادى واللبنه والروب) والجبن والزبد والقشدة المتخمرة بهدف اكساب تلك المنتجات طعما مرغوبا وزيادة مدة بقاءها دون تلف لفترات زمنية أطول . وتقوم بكتيريا حمض اللاكتيك Lactobacilli بتحويل سكر اللبن (اللاكتوز Lactose) الى حمض لاكتيك Lactic acid فى المنتجات اللبنية . . . والذى يعزى اليه زيادة مدة حفظ تلك المنتجات واكسابها طعما حمضيا . كما أن الكثير من البكتيريا المستخدمة فى صناعات الألبان تنتج مواد خاصة تكسب المنتجات المختلفة مذاقا ورائحة خاصة تتميز بها . وقد لا يقتصر نشاط بكتيريا حمض اللاكتيك على خطوات التصنيع فقط كما فى صناعة الزبادى ، بل قد يمتد الى ما بعد التصنيع ، فتقوم البكتيريا بدور هام فى تسوية أو تعتيق الجبن والزبد ، ولا تقتصر صناعة الجبن على استخدام بكتيريا حمض اللاكتيك فقط ، فهناك بكتيريا أخرى مثل بكتيريا حمض البروبيونيك تستخدم فى صناعة الجبن السويسرى ، كما يستخدم أحد الفطريات وهو فطر Penicillium roquforti فى تسوية الجبن الـركفور .

كما تستعمل بكتيريا حمض اللاكتيك في تخليل كثير من الخضـر والفاكهة ، وكانت تتم هذه العملية في الماضي باستعمال بكتيريا حمض اللاكتيك المتوفرة طبيعيا على الخضروات والفاكهة بهدف حفظ الخضروات الزائدة عن الاستهلاك . ولكن تتوفر الآن طرق حفظ أفضل كثيرا من التخليل . ولكن التخليل بواسطة مزارع نقية خاصة (البادئات) مازال شائعا بهدف الحصول على الطعم المميز للمخللات المختلفة . وتقـوم بكتيريا حمض اللاكتيك بتحويل السكريات القابلة للتخمر في الثمار الى حمض لاكتيك ومنتجات أخرى مما يكسب المخللات طعما مرغوبا وقوة حفظ ضد غزو الثمار بالأحياء الدقيقة الأخرى ، وقد استغلت بكتيريا حمض اللاكتيك أيضا في صناعة السيلاج ، وذلك بتخمير مواد العلف الأخضر بهدف إطالة مدة بقاءها بدون تلف . كما تستغل بكتيريا حمض الخليك *Acetic acid bacteria* بهدف انتاج الخل من مواد سكرية رخيصة بعد تحويلها الى كحول ايثايل بواسطة الخميرة وتستغل أحياء دقيقة أخرى في انتاج الفانيلا والقهوة والشاي الأسود (المتخمـر) والسترون *Citron* أو انتاج أغذية اقليمية محلية مثل انتاج جبن وصلصة فول الصويا في اليابان والأسماك المخلة في الصين والبيض المتخمـر في كلا من الصين وجزر هاواي . كما أن الأحياء الدقيقة قد استغلت لانتاج الدهون أثناء الحرب العالمية الثانية مثل الخمائر *Candida* *Pulcherrima*, *Torulopsis lipofera* *Rhodotarula glutinis* .

وفي الحرب العالمية الاولى استخدمت الفطريات *Trichosporon* *Saccharomyces* *Pullulans*, *Geotrichum candidum* كما تستخدم الخميرة *cervisiae* لدعم أغذية سكان المناطق الفقيرة بالبروتينات والفيتامينات وكذلك تستخدم في أوقات الطوارئ كالحروب .

وعلى الرغم من أن ما ذكر عن دور الأحياء الدقيقة في صناعات الأغذية والألبان حتى الآن يهدف الى تشجيع نمو واكثار أحياء دقيقة معينة بهدف الحصول على منتجات معينة ، الا أن طرق حفظ الأغذية

تهدف بصفة عامة الى قتل أو ازالة أو تثبيط جميع الأحياء الدقيقة بصفة أساسية وذلك لما للأحياء الدقيقة من دور كبير في اتلاف كميات ضخمة من الأغذية سنويا مع ما تعانيه البشرية حاليا من نقص واضح في امدادات الغذاء . وما زالت المجاعة التي حدثت في بعض دول افريقيا حديثا والتي هددت حياة الملايين شاخصة في الأذهان . والدراسات الحالية ليست قاصرة فقط على مجال تقليل التالف من الأغذية بواسطة الأحياء الدقيقة ، بل تمتد الى محاولة الاستفادة من الأحياء الدقيقة لانتاج أغذية من مواد غير غذائية مثل مخلفات الزراعة والبتترول . وقد تم التوصل الى علائق حيوانية غنية في البروتين من تلك المصادر ، وما زالت هناك محاولات تجرى للحصول على أغذية بشرية من هذه المصادر .

أما بالنسبة للتلف الذي تسببه الأحياء الدقيقة للأغذية المختلفة ، فمن المعروف أن التركيب الكيميائي للأغذية معقد للغاية ، فتعددت الأبحاث لدراسة تغيرات المواد العضوية المختلفة والأحياء الدقيقة المسؤولة والظروف التي أدت الى تلك التغيرات . وهذه المواد الغذائية المختلفة توفر لأنواع الأحياء الدقيقة خليطا متنوعا من المركبات التي تتباين في خواصها الفيزيائية والكيميائية .

وفيما يلي نقدم عرضا مختصرا لأنواع التلف الميكروبي التي تصيب الأغذية المختلفة .

١- الحبوب ومنتجاتها :

تتميز الحبوب والدقيق بانخفاض نسبة الرطوبة فيها بما يمنع نمو الأحياء الدقيقة ، ومعظم تلف الحبوب في هذه الحالة يرجع الى الحشرات ، ويؤدي ارتفاع نسبة الرطوبة في الحبوب بدرجة بسيطة الى تشجيع نمو الفطريات ، وأكثرها يتبع أجناس *Aspergillus, penicillium* وإذا زادت الرطوبة بمقدار كبير ، فإن ذلك يشجع نمو كثير من البكتيريا والخمائر ، وأكثر البكتيريا التي تنمو في مثل تلك الحالات تتبع أجناس

Bacillus, Lactobacillus, Micrococcus, Psoudomonas وغيرها . أما الخبز فقد يتعرض للتلوث بالفطريات أثناء التقطيع الى شرائح أو أثناء التعبئة في أكياس وأكثر أسباب تلف الخبز ترجع لنمو الفطريات عليه ، ومن أكثر الفطريات اتلافا للخبز هي فطريات Rhizopus, Penicillium , Asperigillus, Mucor, Neurospora وغيرها . كما أن تخزين الخبز في جو رطب كثيرا ما يؤدي الى ظهور العيب المعروف باسم التحبب Ropy bread والذي يرجع الى نمو البكتيريا Bacillus subtilis والتي تؤدي الى تحلل مكونات الخبز مكونة منتجات لزجة تشبه الخيوط عند قطع الخبز ، وكثيرا ما يمكن التغلب على هذا العيب في المناطق السواحلية والمناطق الرطبة بانتاج الخبز المحض Sour bread وذلك بخلط بكتيريا حمض اللاكتيك مع الخميرة والسماح لها بانتاج حمض اللاكتيك أثناء عملية التخمير ، وبذلك تنتج عجينة ذات PH منخفضة لا تشجع بكتيريا باسيلس Bacillus على النمو ، كما قد يتلون الخبز بلون أحمر أو طباشيري ، نتيجة نمو بكتيريا أو فطريات أخرى ، وكذلك تتعرض منتجات المخازن الأخرى للتلف بواسطة الأحياء الدقيقة تحت الظروف المناسبة لنمو أحياء دقيقة معينة .

٢- السكر والحلويات والأغذية السكرية :

السكر الجاف والمنتجات الجافة لا تتعرض للتلوث بالأحياء الدقيقة نتيجة عدم توفر الرطوبة ، وهي ضرورية لنمو الأحياء الدقيقة . أما المحاليل السكرية والمنتجات المحتوية على سكريات بتركيزات مناسبة لنمو الأحياء الدقيقة كثيرا ما تتلف بواسطة العديد من الأحياء الدقيقة وفقا لظروف التخزين . والتركيز الحافظ للسكر عند pH ٤ أو أقل هو حوالي ٦٥ ٪ ، وعند هذا التركيز لا تنمو الأحياء الدقيقة ، لذلك تصنع المربات والجيلي بحيث تحتوى ٦٥ ٪ مواد صلبة ذائبة . ويمكن حفظ مثل تلك المنتجات على درجة حرارة الغرفة لفترة زمنية طويلة دون تلف . وقد يؤدي تكثف الرطوبة على أغشية عبوات المربات عند تعبئتها ساخنة ثم تساقط قطرات الماء على سطح المرص بعد ذلك الى تكوين محاليل

سكزية تقل في تركيزها كثيرا عن ٦٥٪ بما يسمح بنمو الفطريات التسي تسبب تلف المربات بعد تصنيعها ، كما أن أى ظروف تؤدي الى وصول كميات صغيرة من الماء الى سطح المربى والعسل والحلويات والجيلسى كثيرا ما تشجع نمو الفطريات والخمائر المحبة للتركيزات المرتفعة من السكر Osmophilic على سطح المربات والأغذية السكرية ، ينتج عن ذلك تغير القوام أو الطعم أو اللون وغيرها .

٣- الخضر والفاكهة ومنتجاتها :

بعد جمع محاصيل الخضر والفاكهة وتعبئتها في صناديق أو أكياس أو سلال أو غيرها ، فإن الثمار تصبح عرضة للتلوث من بعضها البعض ، وكذلك من العبوات . خاصة اذا وجدت ثمار مهشمة أو مجروحة أو كانت العبوات تحتوى على مسامير او نهايات حادة تؤدي الى جرح الثمار أو اذا كانت الثمار تعبأ بكميات كبيرة فى الصناديق بحيث يهشم بعضها البعض . ونظرا لاحتواء الفاكهة والخضر على العناصر الغذائية اللازمة لنمو العديد من الأحياء الدقيقة التى تكون مختلطة بالثمار فانه من الضرورى الاسراع بتنظيف الثمار ومعاملتها أو تصنيعها أو فرزها وتعبئتها بأسرع ما يمكن بعد الجمع ، كما يحسن أيضا تبريدها أثناء النقل من الحقول الى المصانع لتقليل نشاط الأحياء الدقيقة أثناء النقل .

ومن الجدير بالذكر أن خطوة الغسيل بالنقع فى بعض مصانع الأغذية قد تكون مصدرا لزيادة التلوث نتيجة عدم تغيير ماء النقع لفترات طويلة بما يسمح بتكاثر الأحياء الدقيقة فيه .

وتتعرض عصائر الفاكهة والخضر أو مستخلصاتها أو عجائنها أو أجزاءها للتلف السريع بواسطة الأحياء الدقيقة المختلفة ان لم تحفظ بالطريقة المناسبة بعد الحصول عليها مباشرة ودون تأجيل لخطوات التصنيع والحفظ ، ومن أكثر الأحياء الدقيقة اتلافا للخضر والفاكهة الطازجة أو التى يؤجل تصنيعها هى الفطريات التابعة لأجناس:

Cladosporium ,	Fusarium ,	Rhizopus
Ceratostomella	Alternaria,	Trichoderma
Sclerotinia,	Trichothecium ,	Physalospora
Phytophthora,	Diplodia,	Aspergillus

Penicillium, Bremia, Botrytis وغيرها من الفطريات .

يعزى العديد من العيوب الى العديد من البكتيريا وخاصة تلك التابعة لأجناس Erwinia, Micrococcus, Pseudomonas والعديد من البكتيريا الأخرى .

وتتعرض منتجات الخضر والفاكهة المحفوظة بالطرق المختلفة أيضا للتلف بواسطة الأحياء الدقيقة . اذ أن الأغذية المحفوظة بالتبريد تهاجمها الكثير من الأحياء الدقيقة المحبة للبرودة Psychrophiles وتسبب عيوباً مختلفة ، منها فقد القوام أو القوام المزلق Slime أو تكون طعم وروائح غير مرغوبة أو تغيرات في اللون . . . الخ .

أما الأغذية المجمدة على درجات حرارة منخفضة (صفر ف) فنادر ما تتعرض للتلف بالأحياء الدقيقة (وان كانت قد تتعرض للتلف الانزيمى ان لم يتم اتلاف الانزيمات) . أما الأغذية المجمدة على درجات حرارة ٢٠° ف (وهى درجة حرارة أقل من الصفر المئوى) فقد تتعرض للتلف بواسطة الأحياء الدقيقة حيث تنمو بعض الفطريات مثل بعض الفطريات التابعة لأجناس Sporotrichum , Monilia, Penicillium على درجة حرارة ٢٠° ف . كما تنمو بعض البكتيريا مثل تلك التابعة لأجناس Pseudomonas, Achromobacter, Alcaligenes, Micrococcus, Flavobacterium على درجة حرارة ٢٠° ف . وتسبب هذه الأحياء الدقيقة كثيراً من العيوب للأغذية المحفوظة في الثلاجات .

وتتعرض منتجات الخضر والفاكهة المعلبة أو المجففة أو المخللة للتلف بواسطة الأحياء الدقيقة اذا لم يتم حفظها بأسس وأساليب علمية دقيقة ، ولذلك فان القائمين على التصنيع الغذائى يجب أن يكونوا

على دراية تامة بعلوم الأحياء الدقيقة ووسائل التحكم فيها . والتسمم البوتيولينى Bctulism من أشهر أنواع التلف التى تحدث فى الأغذية المعلبة منخفضة الحموضة (كالبقوليات ومعظم أنواع الخضـر واللحوم والأسماك وغيرها) ويعزى هذا التسمم لعدم كفاية درجة حرارة أو مدة التعقيم التجارى لتلك الأغذية بما يتسبب فى نمو ميكروبات كلوستريديم بوتولينم Clostridium botulinum (وهو ميكروب عصوى متجثرم لا هوائى تتحمل جراثيمه درجات حرارة مرتفعة) الذى يفرز مواد سامة فى الغذاء تؤدى الى التسمم الغذائى . وهناك أحياء دقيقة أخرى كثيرة تسبب تلف الأغذية المعلبة . وقد يكون التلف مصحوبا بانتفاخ العلب أو عدم انتفاخها . كما تتعرض الأغذية المخللة أيضا للتلف بواسطة الأحياء الدقيقة التى تؤدى الى السطح المزلق أو فقد القوام أو ظهور فقائيع غازات فى المخللات أو ظهور طعم أو رائحة غير مرغوبة وغير ذلك من العيوب .

٤- اللحوم والأسماك والدواجن ومنتجاتها :

تتعرض اللحوم والأسماك والدواجن الطازجة للتلف السريع بواسطة الأحياء الدقيقة بعد الذبح أو الصيد ان لم يتم تبريدها أو حفظها أو استهلاكها . فقد يتغير اللون أو القوام أو تظهر روائح أو طعم غير مرغوب أو ظهور نموات على المنتجات الطازجة أو المصنعة بالطرق المختلفة ، وتنتج هذه العيوب بواسطة العديد من البكتيريا التابعة لأجناس :

Pseudomonas, Achromobacter, Flavobacterium, Serratia, Chromobacterium, Streptococcus, Leuconostoc, Bacillus Micrococcus, Lactobacillus, Brevibacterium, Pediococcus, Clostridium, Salmonella.

وغیرها ، كما تهاجم الفطريات أيضا اللحوم والأسماك والدواجن ومنتجاتها ، وتسبب كثيرا من العيوب .

ومن أمثلة الفطريات التى تهاجم هذه المنتجات ، بعض الفطريات

التابعة لأجناس:

Mucor, Rhizopus, Thamnidium, Penicillium, Cladosporium, Geotrichum

٥ - البيض ومنتجاته :

يتعرض البيض الطازج أو المحفوظ بالتبريد أو التجميد أو التجفيف للتلف بواسطة العديد من الأحياء الدقيقة أن لم تتم معاملته بالطرق العلمية الصحيحة . . ورغم أن البيض معقم من الداخل عند الوضع ، إلا أنه قد يتلوث من فضلات الدواجن أو من ماء الغسيل أو الأيدي أو أطباق التعبئة وغيرها ، وينتج عن ذلك عيوب عديدة في قوام البيض أو طعمه ورائحته ولونه أو غير ذلك . ومن الأحياء الدقيقة التي تسبب تلف البيض ومنتجاته بعض الأنواع التابعة لأجناس البكتيريا .

Pseudomonas, Proteus, Achromobacter, Alcaligenes,

Flavobacterium, Bacillus, Micrococcus, Streptococcus

وكذلك بكتيريا وفطريات القولون

٦ - اللبن (الحليب) ومنتجاته :

يحتوي اللبن (الحليب) عند نزوله من الضرع على أعداد كبيرة من الأحياء الدقيقة حتى في أنظف مزارع الألبان ، وقد يصل عدد البكتيريا في الملليمتر الواحد إلى ٥٠,٠٠٠ خلية . لذلك يلزم تبريد اللبن (الحليب) بسرعة بعد عملية الحلب ، وإلا تعرض للتلف السريع . ولا يقتصر التلف بالأحياء الدقيقة على اللبن (الحليب) الطازج فقط ، بل إن منتجات الألبان على اختلافها تتعرض لميوب مختلفة . منها ارتفاع الحموضة أو التجبن أو ارتفاع القلوية أو تغير اللون أو التحبسل Ropiness أو تكون طعم أو رائحة غير مرغوبة . أو تكون فقاعات غازات أو التزنخ أو التعفن . . . الخ . والأحياء الدقيقة التي تهاجم الألبان

وتتلفها عديدة ، كما أن العديد من الأحياء الدقيقة تستخدم فى صناعات الألبان المختلفة . ومن أكثر الأحياء الدقيقة استعمالا فى منتجات الألبان المختلفة البكتيريا التابعة لأجناس:

Lactobacillus, Streptococcus, Propionibacterium, Leuconostoc.

وكذلك الفطر *Penicillium roquoforti* (جدول ٢-١) .

كما أن هذه الأحياء قد تكون مسئولة عن عيوب معينة فى بعض منتجات الألبان ، علاوة على أنواع أخرى كثيرة مثل بكتيريا

Pseudomonas, Achromobacter, Alcaligenes, Flavobacterium, Serratia, Bacillus Clostridium, proteus, Micrococcus, Aerobacter, Brevibacterium

وفطريات *Oospora (Geotrichum), Penicillium, Monilia Aspergillus, Mucor, Alternaria, Loddaromyces*

جدول ٢-١ : الأحياء الدقيقة التى تستخدم فى المنتجات المختلفة للألبان

المنتجات	نوع التخمير	الأحياء الدقيقة التى تقوم بالتخمير بصفة عامة
اللبن المتخمير (الروب) Butter milk.	لاكتيكى	<i>Lactobacillus bulgaricus</i>
اليوجرت - الزبادى Yogurt	لاكتيكى	<i>L. Bulgaricus, Str. thermophilus</i>
الكيفير Kefir	كحولى ولاكتيكى	<i>Streptococcus lactis L. bulgaricus.</i> وخمائر تخمر سكر اللاكتوز
الأجبان (عامة)	مبدئيا لاكتيكى	<i>S. lactis, S. cremoris</i> وبكتيريا حمض لاكتيك مختلفة تنتمى اساسا الى <i>Lactobacilli</i>

تابع جدول ١-٢ : الأحياء الدقيقة التي تستخدم في المنتجات المختلفة للألبان

المنتجات	نوع التخمير	الأحياء الدقيقة التي تقوم بالتخمير بصفة عامة .
الجبن السويسري	بروبيونسي	<u>Propionibacterium Spp.</u>
الجبن الـركفور	تحليل دهون وپروتينات	<u>Penicillium roqueforti</u>

٧- أغذية أخرى متنوعة :

تتعرض الأغذية الأخرى التي لم تذكر ضمن الأقسام الست السابقة مثل الزيوت والدهون والمشروبات الغازية والتوابل والبهارات وغيرها من الأغذية للتلف بواسطة الأحياء الدقيقة . ويظهر هذا التلف في صورة عيوب مختلفة كالتزنخ في الدهون والزيوت أو تخمر المشروبات الغازية المختلفة أو اكسابها طعم أو لون غير مرغوب الي غير ذلك من العيوب . وتختلف الأحياء الدقيقة التي تسبب العيوب المختلفة على حسب نوع المادة الغذائية وظروف التخزين المختلفة .

وتحاشيا للعيوب المختلفة السابق ذكرها في مختلف الأغذية ، تستخدم كل الطرق الممكنة التي تؤدي الى قتل أو تثبيط نشاط الأحياء الدقيقة كوسائل لحفظ الأغذية المختلفة ، وعلى سبيل المثال تستخدم الطرق الآتية لحفظ الأغذية من التلف بواسطة الأحياء الدقيقة لآجال مختلفة :

(١) التعقيم التجاري للأغذية المعبأة في أوعية محكمة القفل - صناعة تعليب الأغذية .

(٢) خفض رطوبة الأغذية الى الحد الذي لا يسمح بنمو الأحياء

الدقيقة — صناعة التجفيف الشمسي والتجفيف الصناعي للأغذية .

(٣) تجميد الأغذية على درجات حرارة منخفضة بحيث يتحول رطوبة الأغذية إلى الحالة الثلجية ، فيتوقف نشاط الأحياء الدقيقة نتيجة عدم توفر الرطوبة السائلة ، ونتيجة انخفاض درجة الحرارة — صناعة تجميد الأغذية .

(٤) استعمال تركيزات مرتفعة من السكر كافية لمنع نشاط الأحياء الدقيقة — صناعة المربى والجيلي والمرملاد والأغذية السكرية .

(٥) التمليح سواء في محاليل ملحية مشبعة أو باستخدام الملح الصلب . كما يحدث في حفظ بعض أنواع الأسماك واللحوم — صناعة التمليح .

(٦) معاملة الأغذية بمواد كيميائية بتركيزات مناسبة كافية لتثبيط نمو الأحياء الدقيقة . مثل إضافة أملاح حمض البنزويك أو السوربيك أو الكيميائيات الناتجة أثناء تدخين الأسماك . أو إضافة المضادات الحيوية وغيرها — صناعة حفظ الأغذية بالكيميائيات .

(٧) تشجيع مجموعة معينة من الأحياء (مثل بكتيريا حمض اللاكتيك) للنمو وإنتاج مواد كيميائية تساعد في إطالة مدة بقاء الأغذية دون تلف كما سبق الذكر — صناعة التخليل أو تخمر منتجات الألبان .

(٨) تشجيع الأغذية بهدف قتل الأحياء الدقيقة دون التأثير على مكونات الغذاء — حفظ الأغذية بالتشجيع .

(٩) بسترة الألبان والعصائر المختلفة بقصد قتل الميكروبات المرضية وخفض الحمولة الميكروبية لإطالة مدة الحفظ .

(١٠) تبريد الأغذية بهدف تثبيط أو خفض نشاط الأحياء الدقيقة وخاصة على الخضروات والفاكهة الطازجة .

وبعض الطرق المذكورة تحفظ الأغذية لآجال طويلة نسبيا كالتعليب والتجفيف والتجميد ، وبعضها قصير الأجل كالبسترة والتبريد . وذلك يتوقف على مدى تأثير المعاملة على الأحياء الدقيقة ونشاطها ففى الأغذية . ولا بد من الإشارة الى أن التخليل للخضروات والتخمير فى الألبان يحسن من قيمة الأغذية نتيجة نمو بكتيريا حمض اللاكتيك مما تحتوية من فيتامينات وعوامل نمو .

ثامناً ، دور الأحياء الدقيقة فى الصناعات الكيماوية والدوائية

ازدهرت كثير من الصناعات الكيماوية باستخدام الأحياء الدقيقة منذ بداية القرن الأخير (العشرون) . فتم انتاج الكحول الصناعى (كحول الايثانول) بالتقطير من نواتج تخمر المولاس بواسطة الخميرة . كما استخدم الكحول بتركيزات مختلفة لانتاج حمض الخليك Acetic Acid بواسطة بكتيريا حمض الخليك . واستخدمت بكتيريا كلوستريديوم Clostridium Spp. لانتاج المذيبات العضوية كالأسيتون والبيوتانول على نطاق تجارى كبير . ويستطيع عدد من البكتيريا التابعة لجنس كلوستريديوم انتاج حمض البيوتريك . بينما تستطيع بعض البكتيريا الاستمرار فى عمليات التخمر محولة حمض البيوتريك الى ايثانول وأسيتون ، وسميت تلك العملية باسم " تخمر الأسيتون - بيوتانول " Acetone-butanol fermentation وتتم بواسطة البكتيريا كلوستريديوم أسيتوبيوتلكم Clostridium acetobutylicum وقد ازدهرت هذه العملية ازدهارا كبيرا أبان الحرب العالمية الأولى للاحتياج الكبير للأسيتون فى صناعة المفرقات . وبعد الحرب هبط الطلب على الأسيتون ، ولكن عملية التخمر نفسها استمرت للحصول على البيوتانول الذى وجد استعمالا فى التجفيف السريع لصبغة النيتروسيليلوز المستخدمة فى دهان السيارات التى تزايد الاقبال عليها حينئذ . كما أن مادة الريبوفلافين (فيتامين ب ٢) الناتجة كنتاج ثانوى ساعدت هذه الصناعة على البقاء - كما أن انتاج الجليسرول Glycerol صناعيا خلال التخمر الكحولى فى وجود أملاح الكبريتيت Sulphite ازدهر أيضا أبان الحرب العالمية

الثانية بهدف صناعة المفرقات أيضا • الا أن كل هذه المنتجات يمكن صناعتها الآن بنفس السهولة بعمليات كيميائية بحته كنواتج ثانوية في صناعة البترول • وان كانت بعض الصناعات مازالت تستخدم عمليات التخمر في انتاج بعض هذه المواد الكيميائية البسيطة وقد لجأت بعض الدول الى انتاج الكبريت من كبريتور الأيدروجين الناتج من فضلات المجارى بالاستعانة بالأحياء الدقيقة • وقد اقترح البعض زراعة الكبريت Sulfur farming كصناعة ريفية ممكنة كما في بعض مناطق الهند وباكستان • كما انتشر انتاج الميثان أيضا من فضلات المجارى بواسطة الأحياء الدقيقة • والميثان في الواقع هو الناتج الطبيعي لاحتدادى المراحل الميكروبية في المعالجة التقليدية للمجارى • والمصانع الحديثة لتنقية مياه المجارى تعتمد على غاز الميثان الناتج منها لتشغيل آلاتها •

ويمكن مستقبل الأحياء الدقيقة فى الصناعات الكيميائية — بصفة رئيسية — فى تحضير المواد التى يشق على الكيميائيين تحضيرها على نطاق صناعى لسبب أو لآخر • حمض الستريك Citric acid — وهو يستخدم بكثرة فى صناعة المشروبات الغازية والمربات وكثير من الأغذية الأخرى — مادة صعبة التحضير كيميائيا • وأن كان تركيبها بسيطا • • • ومن ثم فمازالت تصنع ميكروبيولوجيا على نطاق صناعى • وحمض الفيوماريك Fumaric acid وحمض الايتاكونيك Itaconic acid — وهما من المواد المستخدمة فى صناعات البلاستيك والصبغات المختلفة — مازال تحضيرهما بالطرق الكيميائية صعبا • ويتم انتاج هذين الحمضين بتخمير السكر بواسطة فطريات مجموعة Rhizopus واسبرجيللس Aspergillus على التوالى •

كما أن حمض الجلوكونيك — وهو يستخدم فى الطب لتزويد المرضى بالكالسيوم — يسهل تحضيره بتنمية بكتيريا أسيتوباكتر سبأوكسيدانسس Acetobacter suboxydans على الجلوكوز •

كما تحضر الأحماض الأمينية لايسين Lysine وحمض الاسبارتيك

Aspartic Acid والثريونين Threonine وحض الجلوتاميك Glutamic acid في الصناعة من الأحياء الدقيقة ، فمثلا يحضر الحمض الأميني لايسين من البكتيريا Bravibacterium glutamicum وكذلك بعض بكتيريا القولون وبعض الخمائر ، كما يستخدم Pseudomonas Fluorescens وبعض أفراد الجنس Bacillus لانتاج حمض الأسبارتيك من الفيوماريك وتستخدم Escherichia coli لانتاج الثريونين من السوربيتول أو المانيتول . . . وتوجد أحياء دقيقة أخرى لانتاج الأحماض الأمينية الأنيون Alanine والأمينوبيوتريك Amino butyric acid والسداي أمينوبيميليك Diaminopimelic acid والهوموسيرين Homoserine والأيسوليوسين Isoleucine والتربتوفان Tryptophane والغالين Valine والبرولين Proline وغيرها .

وهناك بعض المواد التي سيصعب على الكيميائيين انتاجها بتكلفة اقتصادية منافسة لتكلفة انتاجها بالأحياء الدقيقة وهي المضادات الحيوية Antibiotics ، واللقاحات Vaccines والأصال Sera وكلها مواد تستخدم في معالجة الأمراض أو الوقاية منها ، ولها أهمية طبية كبيرة ، وهي مربحة اقتصاديا . كما أن الأبحاث الحديثة قد أدت إلى انتاج مواد جديدة تسمى الانترفيرون Interferon تستخدم في مكافحة الفيروسات ، وإن لم يتم انتاجها على نطاق تجارى بعد . كما أن الفيتامينات Vitamins والاستيرويدات Steroids (وبعضها يضاف لدعم كثير من الأغذية أو استعمالها الدوائية المختلفة) والانزيمات (ومنها ما هو هام جدا لبعض الصناعات وخاصة الغذائية منها) والدكسترنات Dextrans (وهي سكريات عديدة تشبه النشا وتستخدم في استخدامات صناعية عديدة) والمركبات النشطة ضوئيا Optically active (كالأحماض الأمينية وغيرها) ومركبات كيميائية أخرى .

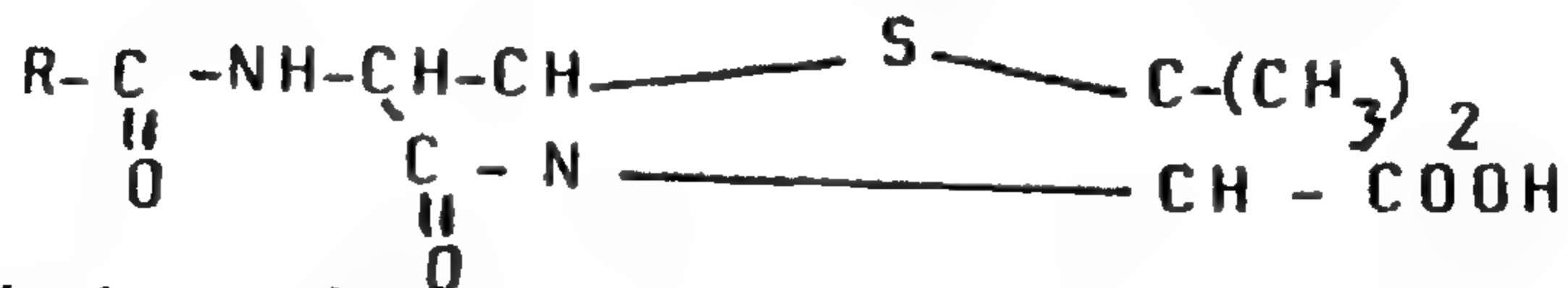
وفيما يلي نعرض باختصار لأهمية الميكروبات في تحضير هذه المواد :

١- المضادات الحيوية : Antibiotics

اكتشفت الكسندر فلمنج ١٩٢٩م أول مضاد حيوى صدفة عند ما لاحظ أن نمو بعض مستعمرات فطرية ملوثة على أطباق تحتوى على مزارع بكتيرية أدت الى منع نمو البكتيريا فى مناطق معينة حول مستعمرات الفطر . وتبين بعد ذلك أن هذا الفطر ينتج مادة كيميائية " مضاد حيوى " يمنع البكتيريا من النمو فى مناطق تواجد . وقد استفاد الانسان منذ ذلك الحين فاستخلص العديد من المضادات الحيوية من الفطريات Fungi والبكتيريا المعروفة باسم الأكتينومايسيتات Actinomycetes مثل البكتيريا التابعة لجنس استربتومايسيس Streptomyces . ويمكن تقسيم المضادات الحيوية (شكل ٢-٤) كما فى الجدول (٢-٢) - وتلخيصها فيما يلى :

أ- المضادات الحيوية بيتا - لاكتام : β -Lactams

وهى تشمل مجموعة البنسلينات . والبنسلين هو أول المضادات الحيوية اكتشافا . وقد استخدم بكثرة اثناء الحرب العالمية الثانية . وشاع استعماله جدا بعد الحرب فساعد على التخلص من العديد من الأمراض والسلالات الفطرية المستخدمة الآن تنتج كميات من هذا المضاد الحيوى أكثر بكثير من السلالة التى اكتشفها فلمنج . وينتج البنسلين حاليا من الفطر Penicillium chrysogenum والرمز الكيميائى للبنسلين موضح أدناه :



حيث تدل R على سلسلة جانبية مختلفة ، وباختلاف مجموعة R أمكن الحصول على عائلة من المضادات الحيوية تسمى البنسلينات Penicillins ومازال البنسلين يستعمل بكثرة فى مكافحة كثير من الأمراض البكتيرية بالرغم من ضيق مدى تأثيره نوعا وبالرغم من ظهور عدد كبير من السلالات البكتيرية المقاومة لفعل البنسلين (كما

سيلى ذكره فيما بعد) . وبالرغم من أن نسبة الحساسية للبنسلين قد ارتفعت . وهناك نوع آخر من البنسلينات ذو مدى واسع نسبيا (أى يهاجم عدد أكبر من البكتيريا) ويسمى السيفالوسبورينات Cephalo-sporium وهى مضادات حيوية شبيهة بالبنسلين ولها مدى واسع نسبيا فى التأثير وتهاجم البكتيريا التى تقاوم فعل البنسلين العادى وتنتجها فطريات من جنس سيفالوسبوريم .

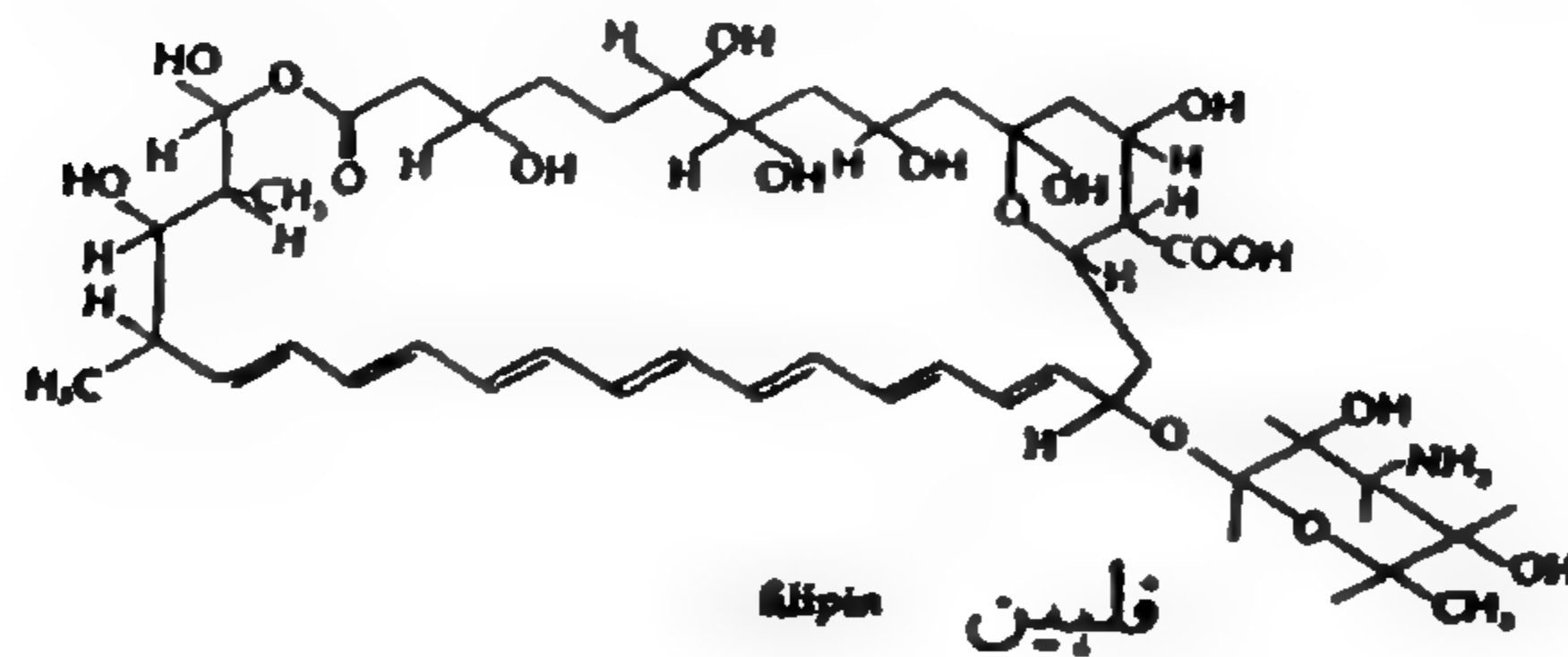
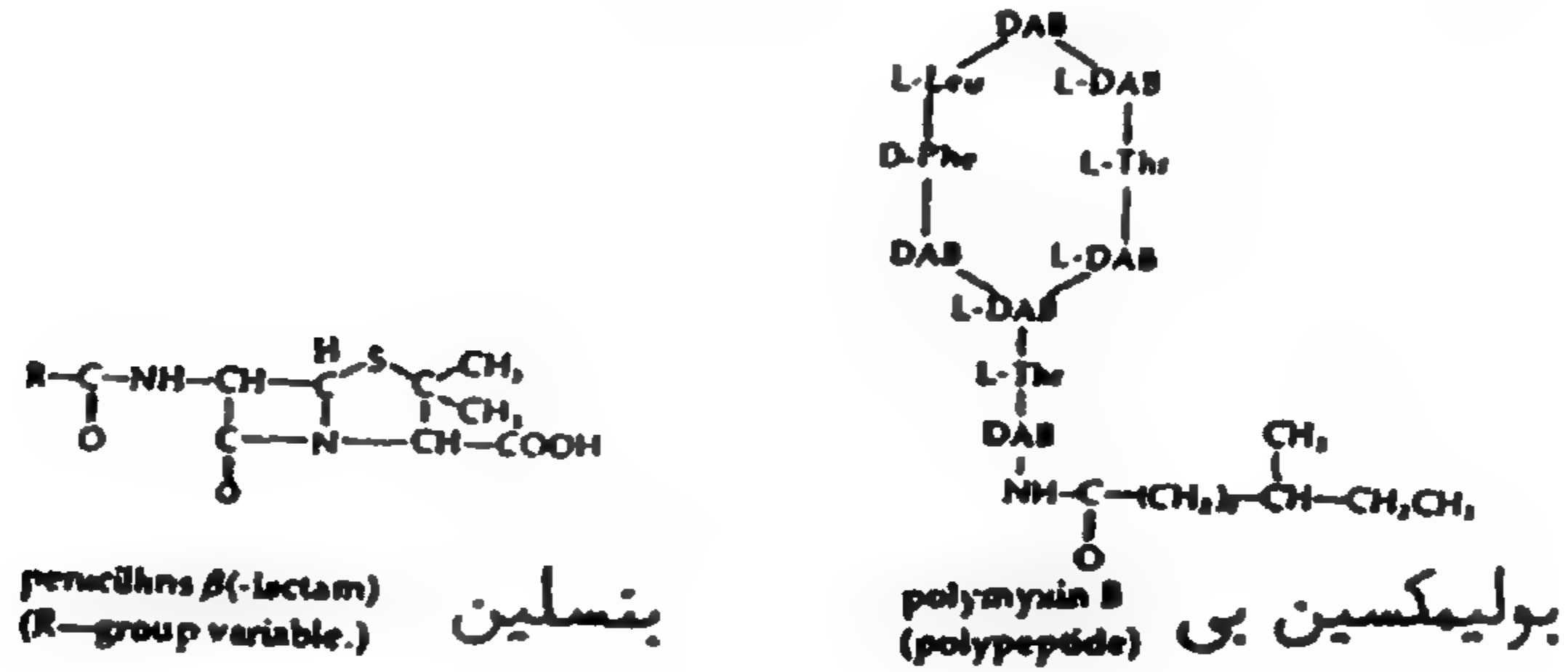
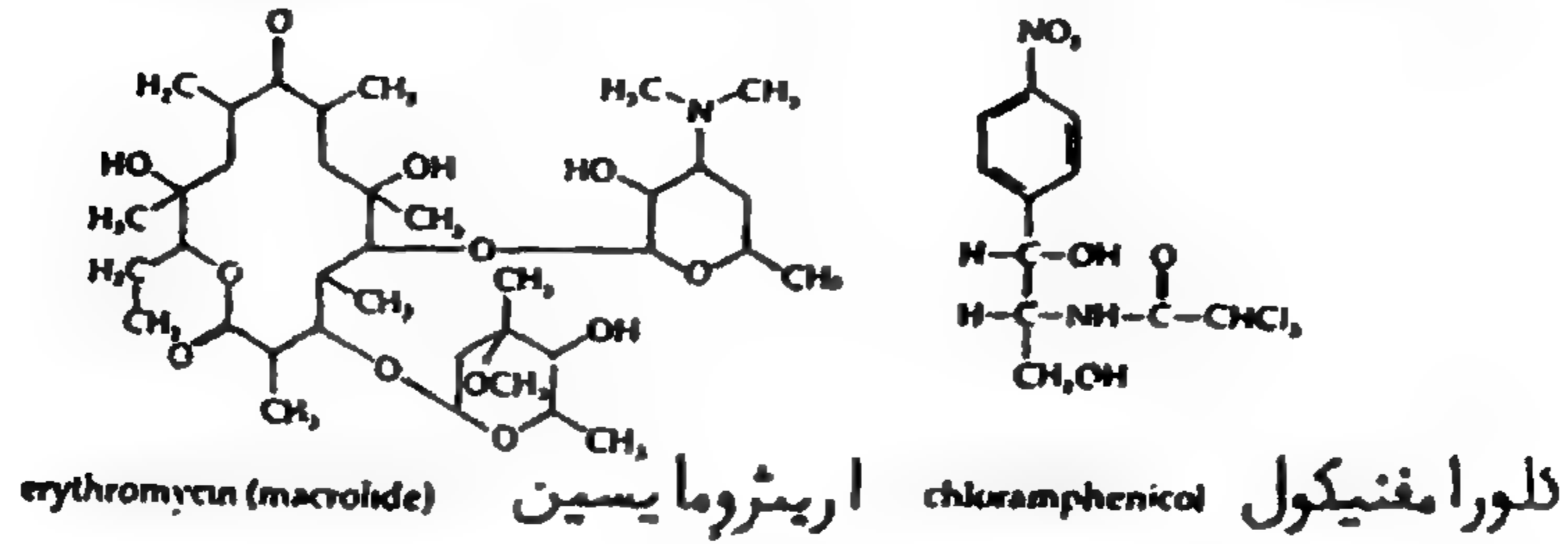
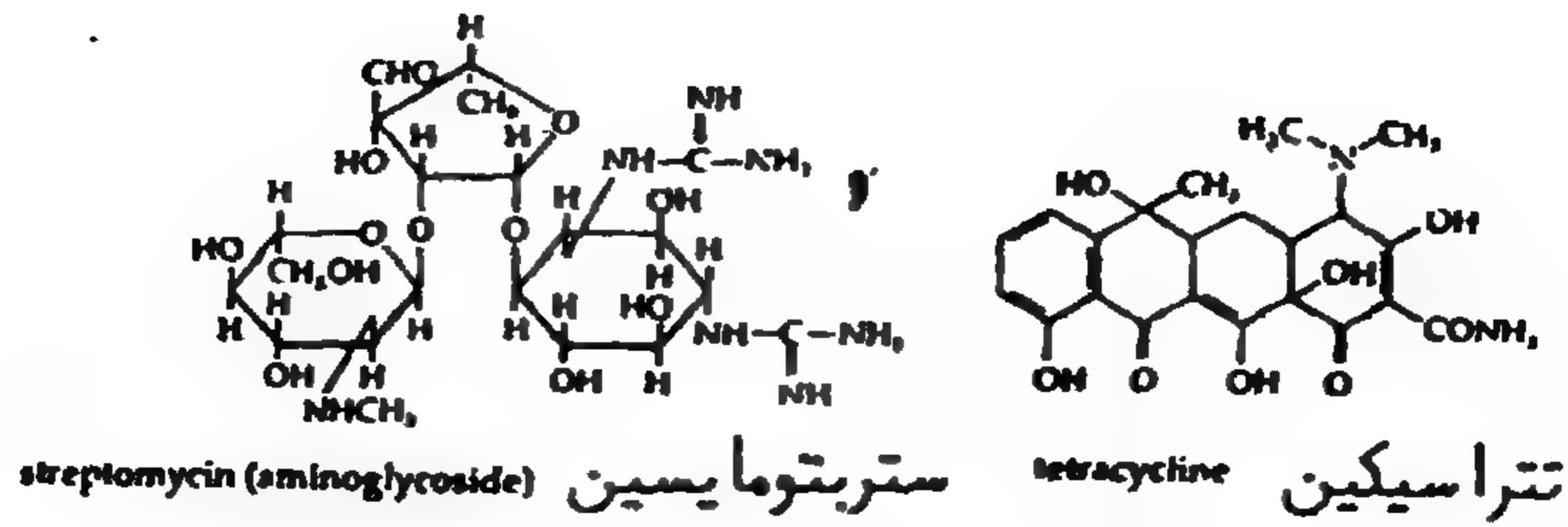
ب - المضادات الحيوية عديدة الببتيدات :

Polypeptide antibiotics

وتنتجها بكتيريا من جنس باسيلس Bacillus وهى عبارة عن مركبات بروتينية فعالة ضد بعض أنواع البكتيريا الأخرى . وتستعمل خارجيا فى علاج الجروح ، ولا تستعمل داخليا لسميتها ، ومن أمثلة هذه المضادات الجراماسيدين Gramacidin والبولىمكسين Polymyxin والباسيتراسين Bacitracin .

ج - التتراسكيلينات Tetracyclines

هى من المضادات الحيوية واسعة المدى Broad spectrum وقد شاع استعمالها فى السيطرة على العدوى البكتيرية الثانوية التى غالباً ما تصاحب الأمراض الفيروسية ، وأكثر أنواعها شيوعا المضاد الحيوى الأوريومايسين Aureomycin (كلوروتتراسيكليين Chlorotetracyclin) وينتجه البكتيريا Streptomyces aureofaciens والمضاد الحيوى تيراميسين Terramycin (أوكس تتراسيكليين Oxytetracyclin) وينتجه البكتيريا Streptomyces rimosus وهما ينتجان بكميات كبيرة نسبيا .



شكل (٢-٤) : التركيب الكيميائي لبعض المضادات الحيوية
توضح الاختلافات الكبيرة بين أقسامها الكيميائية . المضاد
الحيوي بوليمكسين بي عبارة عن سلسلة بيتيدية حلقية من
الاحماض الامينية ليوسين (Leu) وفينيل الانين (Phe)
وثريونين (Thr) والفا - جاما داي أمينوبيوتيريك (DAB)

جدول (٢-٢) : خواص واستعمالات أقسام المضادات الحيوية

القسم الكيميائي	الاسم الدارج	المصدر	التأثير العلاجي ضد امراض	فصله (مركز تأثيره)
بيتا - لاكتام β -lactam	البنسلين والسيفالوسبورين	بنسليوم <u>Penicillium spp.</u> سيفالوسبوريم <u>Cephalosporium spp.</u>	البكتيريا الموجبه لجرام. البكتيريا الموجبة لمبغمة جرام	يوقف بناء مادة الببتيدو-جليكان. الاساسية في الجدار الخلوي.
عديدات الببتيد Polypeptide	بوليكسين - بي الباستيتراسين	باسيلس بوليكمسا <u>Bacillus polymyxa</u> باسيلس ستيليس <u>Bacillus subtilis</u>	البكتيريا السالبة لمبغمة جرام البكتيريا الموجبه لمبغمة جرام.	يحطم النفساء الخلوي. يوقف بناء الببتيدو-جليكان.
التترا سيكلينات Tetracyclines	كلوروتترا سيكلين (اوريومايسين) اوكس تتراسيكلين (تيراميسين)	ستربتومايسس أوفيشانس <u>Streptomyces aureofaciens.</u> ستربتومايسس ريموسس <u>Streptomyces remosus</u>	(البكتيريا الموجبة والسالبة لجرام)	يمنع ارتباط - رن أ بالريبوسومات فيوقف بناء البروتين على ريبوسومات ٧٠ أس

تابع جدول (٢-٢) : خواص واستعمالات أقسام المبيدات الحشرية.

القسم الكيميائي	الاسم الدارج	المصدر	التأثير العلاجي ضد أمراض	فعله (مركزز تأثيره) .
الجلوكوزيدات الأمينية . Aminoglucosides	الاستربتومايسين نيومايسين	ستربتومايسس جريبسيوس <u>Streptomyces griseus</u> ستربتومايسس قرطاني <u>Streptomyces fradiae</u> .	البكتيريا السالبة والموجبة لجرام	يمنع نشاط الجزء الأصفر (٣٠س) من ريبوسومات البكتيريا وبذلك فإنه يوقف بناء البروتين على ريبوسومات (٧٠س) .
الماكروليدز Macrolides	الاريثروميسين	ستربتومايسس أريثريوس <u>Streptomyces erythreus</u> .	البكتيريا الموجبة لجرام	يمنع نشاط الجزء الأكبر (٥٠س) من ريبوسومات البكتيريا وبذلك فإنه يثبط بناء البروتين على ريبوسومات (٧٠س) .
البوليينات Polyenes	أفوتريسين ب نيستاتين كلورامفينيكول	ستربتومايسس نودوسوس <u>S. nodosus</u> ستربتومايسس نورسياني <u>S. noursei</u> ستربتومايسس فنزويلي <u>S. venezuelae</u>	الأحياء الدقيقة حقيقية النواة والميكولازما . البكتيريا الموجبة والسالبة لجرام والركتسيا .	يرتبط مع الاسترولات التي توجد في الغشاء الخلوي لذوات النواة الحقيقية ويخل بوظائف الغشاء الخلوي لتلك الأحياء الدقيقة . يوقف ترجمة المعلومات على ريبوسومات (٧٠س) .

د - الجلوكوزيدات الأمينية Aminoglycosides

الاستربتومايسين هو أهمها وتنتجه البكتيريا المعروفة باسم Streptomyces griseus ويهاجم أنواع البكتيريا التي تقاوم البنسلين... ومن أمثلة هذه المجموعة أيضا المضاد الحيوى نيومايسين Neomycin وينتجه بكتيريا Streptomyces fradiae وهو عالي السمية ولا يمتص في الأمعاء ، لذلك فإنه لا يحقن ، ولكنه يمكن استعماله في علاج الأمراض الجلدية والمعدوية .

هـ - البوليينات Polyenes

وتنتجها بعض بكتيريا الاستربتومايسينات ، وهي مركبات قريبة الشبه بقتامين أ ، وهي فعالة ضد الأحياء الدقيقة حقيقية النواة نظرا لاحتواء غشاءها الخلوى على السيترولات .

وترتبط هذه المضادات الحيوية بالسيترولات مسببة الاخلال بوظائف الغشاء الخلوى ، ولا تتأثر ذوات النواة البدائية (فيما عدا الميكوبلازما Mycoplasma) بهذه المجموعة من المضادات الحيوية لعدم وجود السيترولات في غشائها الخلوى (تحتوى الأغشية الخلوية للميكوبلازما على السيترولات) .

و - مضادات حيوية أخرى :

يوجد العديد من المضادات الحيوية الأخرى ، وأكثرها غير هام من الناحية الاقتصادية أو من الناحية الطبية لأسباب عديدة ، ولكن يجدر بالذكر أن بعض المضادات الحيوية (مثل الجريزوفولفين Griseofulvin والذي ينتجه فطر Penicillium Griseofulvum) (المضاد لمسببات أمراض النبات مثل أمراض الصدأ والبياض الزغبى) قد اقترح استعمالها لمكافحة أمراض النبات ، ولكن مازال استخدامه غير

اقتصادي . كما أن المضاد الحيوي النيسين Nisin والذي ينتجه بكتيريا استربتوكوكس لاكتيس Streptococcus lactis قد اقترح استخدامه لحفظ الأغذية وقد اقترح استعمال مبيدات أخرى لحفظ الأغذية أو لدعم غذاء الدواجن والحيوانات بدعوى وقايتها من الأمراض وزيادة الثروة الحيوانية ، ولكن استعمال المضادات الحيوية في حفظ الأغذية أو في وقاية الدواجن والحيوانات من الأمراض قد أوقف للخوف من تهيتها الظروف لانتخاب السلالات المقاومة للمضاد من الأحياء الدقيقة المختلفة بما يشكل خطورة حقيقية لحدوث أوبئة السلالات المقاومة للمضادات الحيوية .

٢- اللقاح Vaccine والمصل Serum

اللقاحات هي الأحياء الدقيقة الممرضة بعد قتلها أو إضعافها إلى درجة لا يمكنها معها إحداث المرض . وعند حقن هذه الفاكسينات في الجسم فإنها لا تحدث المرض، ولكنها تنشط الجسم لإنتاج الأجسام المضادة Antibodies لتلك الأحياء الدقيقة فيصبح الجسم منيعاً للإصابة بالأحياء الدقيقة الممرضة الضارية . وقد انتشر استعمال الفاكسينات انتشاراً واسعاً في جميع أنحاء العالم للوقاية من الإصابة بالأمراض المختلفة . وبفضل الفاكسينات انخفضت نسبة الوفيات في الأطفال بسبب الأمراض المختلفة انخفاضاً كبيراً . وتستخدم الأحياء الدقيقة بكثرة لإنتاج الفاكسينات .

أما المصل Serum فهو البلازما المتحصل عليها من الدم بعد فصل خلايا الدم منه ويمكن الحصول على المصل المضاد لمرض معين من بعض الحيوانات بعد حقنها بسلالات ضعيفة أو ميتة من الميكروبات المسببة لذلك المرض . وبذلك يتكون في الدم الأجسام المضادة لهذا المرض والبلازما المتحصل عليها من هذا الدم بعد فصل خلايا الدم يمكن استخدامها لمكافحة الميكروبات المرضية في الحيوانات المصابة بنفس المرض .

٣- الانتريفيرون Interferon

الانتريفيرون عبارة عن مواد مضادة للفيروسات تنتجها بعض الخلايا الحيوانية بعد حقنها ببعض الفيروسات النشطة أو المشطة . وما زال استخدام الانتريفيرون في مكافحة الأمراض الفيروسية في مهده ، وسنناقش الانتريفيرون فيما بعد بإسهاب عند مناقشة الفيروسات .

٤- الفيتامينات Vitamins والاسيترويدات Steroids

الفيتامينات هي عوامل نمو Growth factors يحتاجها الإنسان والحيوان لكي ينمو نموا طبيعيا . وإذا لم يتحصل الإنسان على الفيتامينات فإنه يصاب بأمراض معينة . . . وعلى سبيل المثال فإن نقص فيتامين ج Vitamin C (حمض الأسكوربيك) في التغذية يؤدي إلى حدوث مرض الاسقربوط . وهذا الفيتامين متوفر بكثرة في الفاكهة كالموالح كما يوجد في الخضروات كالطماطم . ولكن كثيرا ما يتم إنتاج هذا الفيتامين من السوربيتول وذلك لاستعماله كدواء أو لإضافته كمادة مدعمة للقيمة الغذائية لبعض الأغذية وخطوات إنتاج فيتامين ج من السوربيتول تتم خلال سلسلة من التحولات الكيميائية وتتعرض المادة في إحدى هذه الخطوات لبكتيريا تسمى أسيتوباكتريسا وكسيدنزر Acetobacter suboxydans .

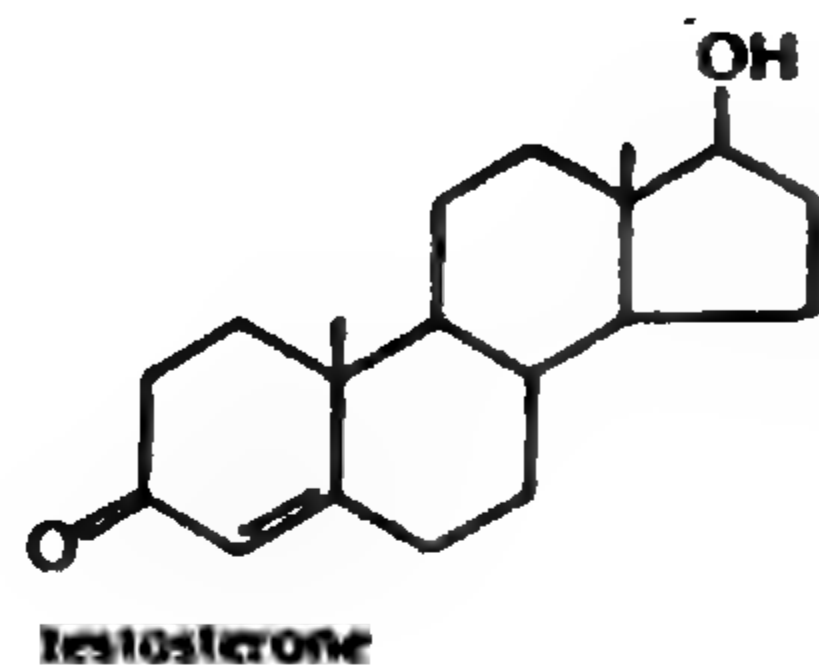
أما فيتامين ب_٢ Vitamin B₂ والمسمى ريبوفلافين Riboflavin فيتم إنتاجه ميكروبيا باستخدام فطر يسمى إيريموثيك اشبياي Eremothium ashbyi أو فطر أشبيا جوسيبياي Ashbya gossypii أما فيتامين ب_{١٢} Vitamin B₁₂ والمسمى كوبالامين Cobalamin وهو يضاف إلى علف الحيوانات كما أن له استعمالات طبية ، ويتم إنتاجه بواسطة البكتيريا استربتوميسيس أوليفيسيوس Streptomyces olivaceus وبكتيريا باسيلس ميجاتيريم Bacillus megaterium كما ثبت أن بكتيريا التخمر لفضلات المحاري يمكنها إنتاج كميات كبيرة من هذا الفيتامين .

والكاروتين وهو مولد فيتامين A Vitamin A شائع الانتشار فى الطبيعة ، ولكن يلزم أحيانا صناعته من مصادر ميكروبية ، وتستطيع بعض أنواع الخمائر والبكتيريا الملونة انتاج الكاروتين . وينتج الكاروتين صناعيا فى البرازيل بمساعدة فطر بلاكيسليا ترايسبورا *Blakeslea trispora*.

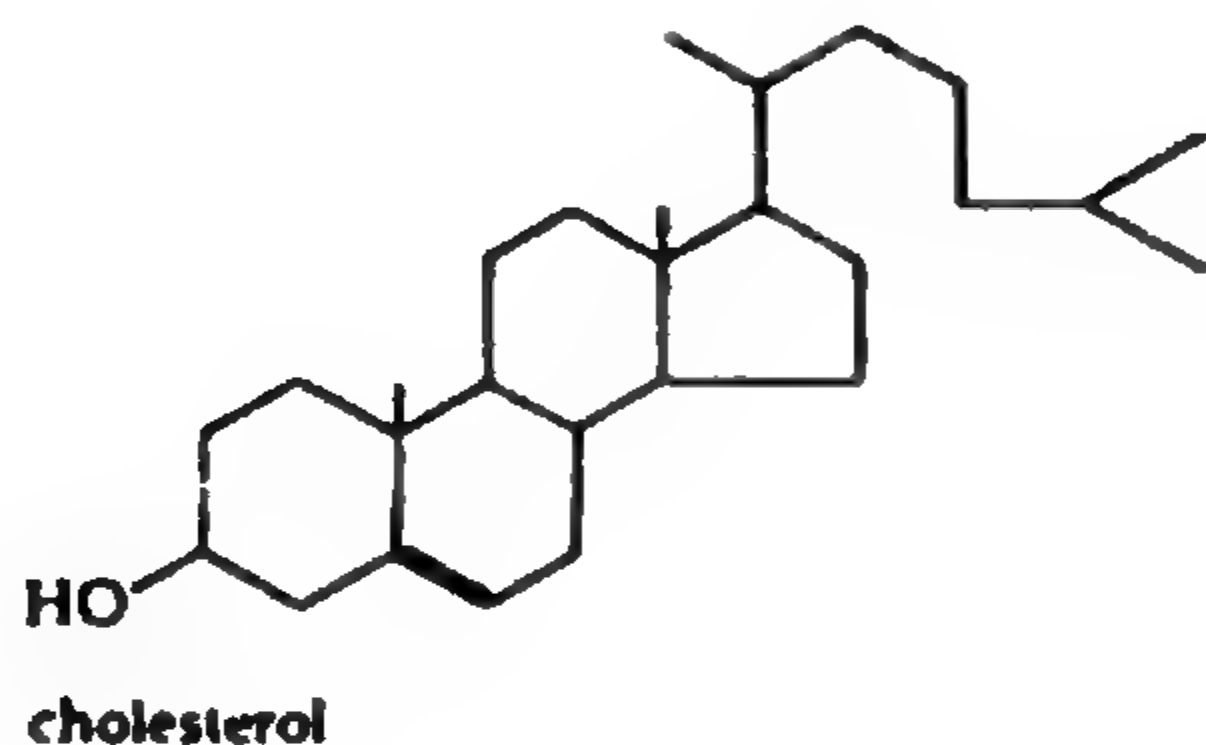
كما يمكن انتاج مادة الايرجوسيترول - وهى مولد لفيتامين D Vitamin D من الخميرة ، وتستخدم الخميرة المضغوطة فى صورة أقراص كدواء لعلاج النقص فى فيتامين ب Vitamin B .

كما تستخدم الأحياء الدقيقة أيضا لانتاج الاستيرويدات وهى عبارة عن هرمونات أو مواد شبيهة بالهرمونات (شكل ٢-٥) لها أهمية فى مجال الصيدلة والطب . . ومن أمثلة الأولى قلويدات الأرجوت Ergot alkaloids والتي لها تأثيرات مشابهة لتأثيرات بعض الهرمونات الجنسية وينتجها فى الطبيعة فطر يسمى كلايسبيس Claviceps . ويهاجم هذا الفطر القمح . وإذا لوث هذا الفطر الخبز الذى يتناوله الانسان ، فان أكلوا الخبز يصابون بالهلوسة Hallucinations وعدد من الاضطرابات الأخرى .

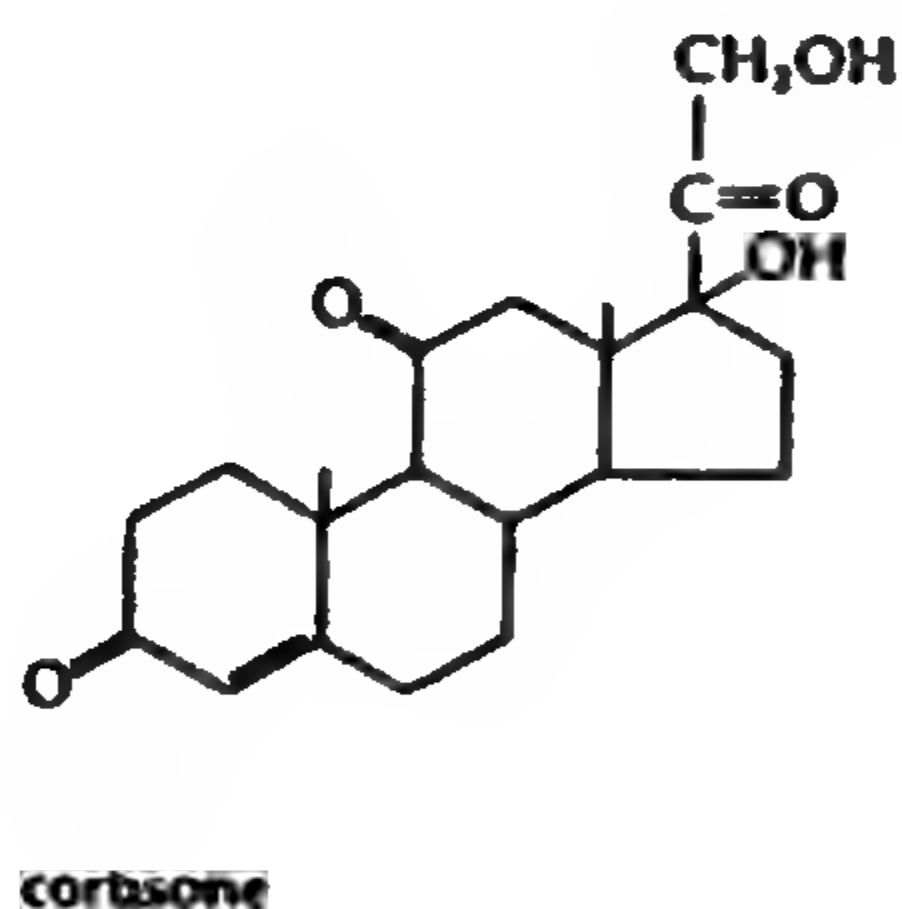
كما يمكن أيضا استعمال فطريات رايزوس Rhizopus فى تغيير التركيب الكيميائى للاستيرويدات النباتية وتحويلها الى هرمونات فعالة دوائيا أو تغيير التركيب الكيميائى لهرمون البروجسترون Progesterone السهل التحضير نسبيا وتحويله الى مادة الكورتيزون الباهظة الثمن والتي تستخدم بكثرة لعلاج الآلام الروماتيزمية وآلام المفاصل وعلاج أمراض الحيض عند النساء وغيرها من الأغراض . . . لذلك فان انتاج الاستيرويدات بواسطة الأحياء الدقيقة يمثل مجالا هاما آخر للاستفادة من الأحياء الدقيقة .



تسترون



كوليسترول



كورتيزون

شكل (٢-٥) التركيب الكيميائي للكوليسترول وهو أسترويد ذو ٢٧ ذرة كربون واثنين من أسترويدات الشديبات وهي هرمونات هامة ، ويعتبر الكوليسترول حجر الأساس في تركيبها وهما التسترون ، ويحتوي على ١٩ ذرة كربون والكورتيزون ويحتوي على ٢١ ذرة كربون . . .

٥. — الانزيمات Enzymes

الانزيمات عبارة عن عوامل مساعدة حيوية للتفاعلات الكيميائية الحيوية ، ويمكن استخلاصها من جميع أنواع الأنسجة الحية ، وكثيرا ما تكون الأحياء الدقيقة أنسب المصادر لبعض الانزيمات . والجداول (٢-٣) يبين بعض الانزيمات التجارية ومصادرها واستعمالاتها والتفاعلات التي تساعد ها . وقد تستخدم هذه الانزيمات بعد تنقيتها كليا أو جزئيا .

ولا يقتصر استعمال الأحياء الدقيقة على الانزيمات المذكورة ، بل ان هناك العديد من الانزيمات التي تستخلص من الأحياء الدقيقة في مصانع الكيمائيات بهدف استخدامها في الأغراض الطبية وفي الأبحاث والدراسات المختلفة . وقائمة الانزيمات التي تستخلص من الأحياء الدقيقة لغرض الأبحاث والدراسات كبيرة ومربحة اقتصاديا .

٦. — الدكسترنات : Dextrans

الدكسترنات عبارة عن سكريدات عديدة وتشبه النشا ، وهي ذات قيمة كبيرة لا مكان استخدامها في أعمدة الفصل الكروماتوجرافي للبروتينات أو كمادة جيلاتينية لبعض البويات ويتم تحضيرها صناعيا بالسماح لبكتيريا ليكونوستوك ميزينتيرويدز Leuconostoc mesenteroides بالنمو على مزارع تحتوي على السكروز . وفي بعض الأحيان يتم قتل البكتيريا بالحرارة وبعد ذلك استخلاص الدكسترنات أو يستخلص الانزيم من البكتيريا قبل معاملتها بالحرارة . ثم يستخدم الانزيم في انتاج الدكسترنات تحت ظروف مضبوطة .

جدول ٢-٣ : قائمة لبعض الانزيمات الميكروبية التي تنتج صناعات

اسم الانزيم	المصدر الميكروبي	الاستعمالات	التفاعلات التي تساعد ها
الد باستير	استرجلس أوريزا <i>Aspergillus oryzae</i>	صناعة عسل الجبل وكوز من النشا - مادة مساعدة للبهضم -	تحليل النشا
الأميليز المعاوام للمحوضة	استرجلس نيجر <i>A. niger</i>	مادة مساعدة في البهضم	تحليل النشا
أنفرتير	خميرة الخباز <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	صناعة الحلويات . لمنع تدهور السكر	تحليل السكروز
بكتيرير	سكورتينا ليرتينا <i>Sclerotinia liber-tina</i>	ترويس عصار المفاكية	تحليل البكتين
بروتيرير	استرجلس نيجر <i>A. niger</i>	مادة مساعدة في البهضم	تحليل البروتينات
بروتيرير	باسيلس ستيلس <i>Bacillus subtilis</i>	ازالة الجيلاتين من الأفلام الفوتوغرافية لاستعادة الفضة .	تحليل البروتينات
سريبوتوكيناز	استربتوكوكاس <i>Streptococcus</i> spp	يساعد النشام الجروح والحروق	تحليل البروتينات
كولا جينير	كلوستريديوم <i>Clostridium histolyticum</i>	يساعد النشام الجروح والحروق	تحليل البروتينات (الكولا جنس)
ليبير	رايزوبس <i>Rizopus</i> sp.	مادة مساعدة في البهضم	تحليل الدهون
سلولير	ترايكودرما كونيغي <i>Trichoderma konigi</i>	مادة مساعدة في البهضم	تحليل السليلور

٧- المركبات النشطة ضوئياً : Optically active compounds

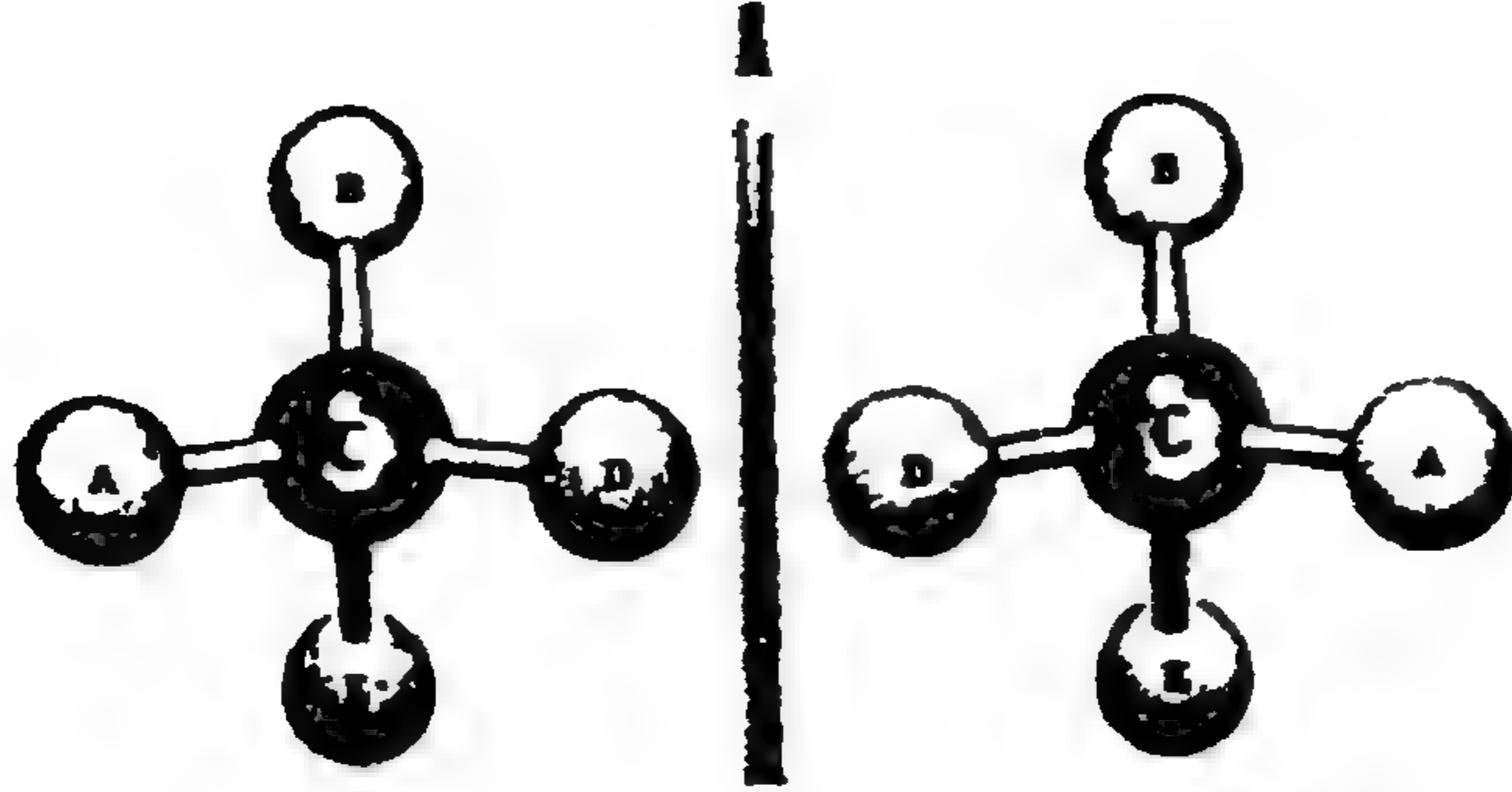
وهي مركبات تؤدي الى انحراف الضوء المستقطب Polarized light وهو أمر يمكن الكشف عنه بأجهزة ضوئية خاصة . وبعض المواد ذات التركيب الكيميائي والجزئي المتماثل تختلف في قدرتها على استقطاب الضوء يمينا ويسارا ، وذلك يتوقف على التركيب البنائي للجزئي ، وأهمية ذلك ترجع الى دقة بناء التركيب الجزئي في هذه المواد

ولوصف أبسط الحالات الممكنة نتصور مركب كربوني تتصل فيه ذرة الكربون بأربع مجموعات مختلفة كما في الشكل (٢-٦) حيث ترمز ذرة كربون تحمل أربع مجموعات مختلفة وهذا المركب وصورته في المرآة يختلفان في استقطاب الضوء ، ولكن المركبان متشابهان في تركيبهما الجزئي وجميع الخواص الأخرى . وعند تحضير هذا المركب بالطرق الكيميائية فإنه يتم الحصول على مخلوط من المركبين بنسب متساوية . ولكن الأنظمة البيولوجية تستطيع أن تصنع أو تستخدم أحد المركبين دون الآخر . . . ولذلك تستخدم الأحياء الدقيقة في تحضير المركبات النشطة ضوئياً بطريقتين :

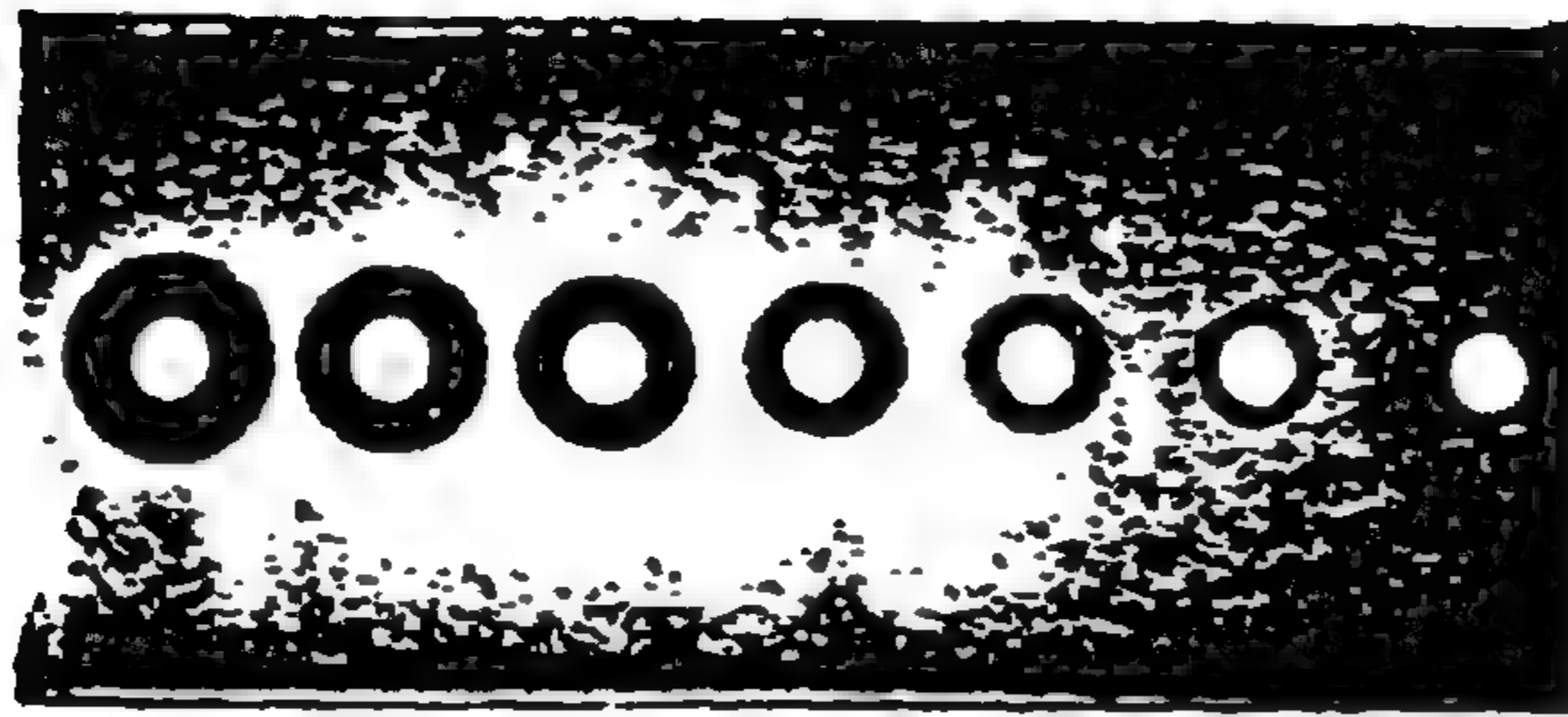
أ- تغذي الأحياء الدقيقة التي تستطيع استخدام الجزئيات التي تستقطب الضوء جهة الشمال على خليط من المركبين وبعد النمو يمكن الحصول على الجزئيات التي تستقطب الضوء جهة اليمين .

ب - يستخدم الأحياء الدقيقة التي تنتج الجزئيات التي تستقطب الضوء جهة الشمال .

والمركبات النشطة ضوئياً باهظة الثمن جداً وتستعمل في الصيدلة للحصول على مركبات معينة كما تستخدم في البحوث والدراسات بكثرة . وحتى الآن تعتبر الوسائل البيولوجية هي أنجح الطرق من الناحية الاقتصادية في الحصول على هذه المركبات .



شكل ٢-٦ : تركيب كربوني ذو أربع مجموعات مختلفة صورته في المرآة .



شكل ٢-٧ : التقدير الحيوي لتركيز المضاد الحيوي بنسلين . شريحة من الآجار لقطت ببيكتيريا حساسة . ثم وضعت تركيزات مختلفة من البنسلين على أقراص من ورق الترشيح ١٠٠ وحدة بنسلين وضعت على القرص إلى أقصى اليمين ، ١٠٠٠ وحدة بنسلين على القرص إلى أقصى الشمال . بعد التحضين تتكون هالات خالية من النمو حول الأقراص يتناسب قطرها مع تركيز البنسلين على تلك الأقراص .

٨- مركبات كيميائية أخرى :

تستخدم كثير من الأحياء الدقيقة لانتاج مركبات كيميائية مختلفة كالأوكسينات مثل الجبريللينات Gibberellins وهي مواد هامة في الزراعة ، وفعلها على النبات يشبه فعل الهرمونات في الحيوان ، إذ تزيد من سرعة نمو وانقسام الخلايا . وإذا لم تستخدم هذه المواد بالطرق الصحيحة فقد تؤدي الى موت البادرات سريعا ، ولذلك تستخدم الأوكسينات في زيادة النمو الخضري وتقصير فترة كمون البطاطس والاسراع في عملية الانبات Malting لحبوب الشعير عند صناعة البيرة (البيرة) ، كما تستخدم الخميرة لانتاج مستخلص الخميرة Yeast extracts والتي تستعمل بكثرة لتنمية أحياء دقيقة مختلفة في المعامل والمختبرات . كما تستخدم أحياء دقيقة كثيرة بهدف الحصول على الأحماض النووية المختلفة للأغراض المختلفة وأهمها الأبحاث والدراسات المختلفة .

كما استخدمت الأحياء الدقيقة في انتاج ملح بيتر Saltpeter وهو نترات البوتاسيوم (KNO_3) إبان حروب نابليون في فرنسا وذلك عندما حاصرتها الجيوش البريطانية فكانت حقائق النترات Nitrate gardens بخلط فضلات الحيوانات مع التربة وفردها على الأرض وتقليبها من وقت لآخر حتى يتم تحليل المواد العضوية وانتاج النترات التي كانت تستخلص وتستخدم في صناعة المتفجرات . كما أن انتاج الجليسرين بالتخمير الكحولي للسكريات في وجود أملاح السلفيت أو في وسط قلوي استخدم أيضا لتكوين النيتروجليسرين المستخدم في المتفجرات في الحروب .

٩- تقدير تركيز المواد الكيميائية بالطرق الحيوية : Bioassays

تستخدم الأحياء الدقيقة بكثرة في تقدير تركيز بعض المركبات في مخلوط كيميائي معقد . وهذا التقدير قد يكون كميًا في حالة تقدير عوامل النمو المختلفة كالأحماض الأمينية والفيتامينات وغيرها أو في حالة تقدير

مثبطات النمو مثل المضادات الحيوية وغيرها .

والأساس في طرق التقدير الحيوية لعوامل النمو هو تحضير مستنبت غذائي مناسب يحتوى على جميع العناصر الغذائية اللازمة لنمو كائن ما فيما عدا عنصر واحد فقط . ثم اضافة هذا العنصر بكميات صغيرة مختلفة كعامل محدد للنمو وحقن هذا الكائن على هذه التركيزات المختلفة وقياس النمو في التركيزات المختلفة ، ويعمل رسم بياني بالعلاقة بين تركيز العنصر المحدد للنمو وكمية النمو الناتجة . وعند الرغبة في معرفة تركيز هذا العامل في مخلوط مجهول منها فانه يتم قياس النمو ، وبالنظر للرسم البياني يمكن معرفة تركيزه في المخلوط المجهول . وكذلك الحال بالنسبة للعوامل المثبطة للنمو كالمضادات الحيوية .

فتشبع أقراص من ورق ترشيح مناسب بتركيزات مختلفة من المضاد الحيوى وتوضع على سطح مستنبت مناسب محقون بكائن حي دقيق مناسب وقياس قطر الدوائر التي لا يحدث بها نمو حول هذه الأقراص وترسم علاقة بيانية تستخدم لمعرفة التركيزات المجهولة من المضاد الحيوى المذكور فيما بعد (شكل ٢-٧) .

تاسعاً : دور الأحياء الدقيقة في انتاج البروتينات وحيدة

الخلية SCP وانتاج البادئات Starters

من الأسباب التي جعلت العلماء يتجهون الى الأحياء الدقيقة كغذاء للحيوانات هو سرعة نمو الأحياء الدقيقة وارتفاع نسبة البروتين فيها وامكان استخدام مواد خام رخيصة لتحويلها الى بروتينات . وقد أدى نمو علم تغذية الحيوان Animal Nutrition الى قيام صناعة جديدة تعتمد على زراعة الخميرة لدعم علف الماشية والدواجن . ولما كان الهدف الحصول على مادة خلوية فان الخميرة تنمو تحت ظروف تهوية شديدة لتحويل أقصى حد من المواد الخام الى مواد خلوية

واللحصول على أعلى ناتج خلوى . وزيادة في الاحتياط فان الخمائر
التي تستخدم فى هذه الصناعة هى من الخمائر الهوائية اجباريا
Strictly aerobic Yeasts من جنس Candida (وذلك لأن
الخمائر الأخرى التى تخمر السكريات Fermentative مثل خميرة
الخباز Saccharomyces cerevisiae تحول جزء من المـواد
الكربوهيدراتية المستخدمة فى تنميتها الى كحول حتى تحت ظروف
التهوية الجيدة جدا .

ويستخدم لانتاج البروتينات وحيدة الخلية إما المولاس المتبقى
من صناعة السكر أو فضلات صناعة التعليب والتجميد للأغذية المختلفة .
كما يستخدم أيضا فضلات صناعة الورق أو بعض مكونات البترول وأى
مصدر آخر رخيص الثمن وان كانت الخميرة الناتجة من المواد البترولية
يكون لها طعم ورائحة البترول الكريهة ، ولكن ازالة هذا الطعم ممكنة .
ويمكن أيضا الحصول على البروتين من الغاز الطبيعى (الميثان) -
بواسطة البكتيريا المؤكسدة للميثان والتى يمكن أن تكون نافعة كعلف
حيوانى أو كسماد أو حتى كإضافات لغذاء الانسان . كما يمكن
استخدام هذه الخمائر والبكتيريا كغذاء فى المزارع الضخمة للبروتوزوا
والتي يمكن بالتالى تقديمها كغذاء للأسماك ، وبذلك نزيد الغلة
من طعام بروتينى طبيعى سائغ للانسان وهو الأسماك .

وأحيانا تلقى أفكار انتاج البروتينات وحيدة الخلية بواسطة
الخميرة أو البكتيريا معارضة على أساس أنها اجراءات قصيرة الأجل باعتبار
أنها تستخدم اما مواد نباتية مثل المولاس ، أو الفضلات المختلفة
والتي يمكن الاستفادة منها فى أغراض أخرى على أى حال ، وأما مـواد
حفرة مثل البترول أو غاز الميثان ، وهذه الأخيرة كميتها محدودة على
كوكبنا ولن تستمر الا لبضعة أجيال أخرى ، وينبغى علينا عدم الاسراف
فى استهلاكها أكثر مما هو حادث فعلا الآن . . .

والمعارضين لفكرة انتاج البروتين وحيدة الخلية من الخميرة
والبكتيريا ينادون باستتبات الطحالب على نطاق واسع ، فهى أدعى لسد

حاجات سكان الأرض على المدى الطويل . اذ أنها تستمد طاقتها من ضوء الشمس وتستمد الكربون من ثانى أكسيد الكربون . وبذلك فهي مصدر متجدد للغذاء ، لذلك فقد درست باستفاضة في معهد كارينجى Carnegie بواشنطن ومعهد توكاجاوا Tokagawa فى اليابان فى الخمسينات . ومن أمثلة الطحالب المستخدمة لهذا الغرض طحلب كلوريللا Chlorella وطحلب سيند يزموس cenedesmus وهى تنتج غلات ضخمة فى كل هكتار اذا أحسن القيام عليها . ثم أن قيمتها تماثل قيمة الخميرة من نواح عديدة ، أى انها أغذية مساعدة ، فالمعتقد حاليا أن الانسان لن يقدمها أو يقبلها كوجبات غذائية كاملة بمفردها .

ومن المشاكل التى تجابه استخدام الأحياء الدقيقة كغذاء هو احتياجها لتكنولوجيا متقدمة لا تتوفر لدى الدول الفقيرة ، وهى الدول الأكثر احتياجا لمثل هذه المصادر الغذائية . . فحاصل الحبوب واللحوم والخضروات أغذية مركزة بدرجة معقولة عند انتاجها . أما مزارع الأحياء الدقيقة كالخميرة أو البكتيريا أو الطحالب فعادة تحتوى على أقل من ١٪ من المحصول والباقي يكون فى صورة ماء يلزم التخلص منه اما بالترشيح أو الطرد المركزى أو الترسيب ، وهى عمليات تتطلب استهلاك طاقة مكلفة وان كانت تكلفة انتاج بروتين الكلوريللا تقل عن ثلث تكلفة انتاج بروتين اللبن .

هذا . . ولا تبدو الأحياء الدقيقة اليوم عند رجال الأعمال أغذية تبشر بالربح ، ولكن لا بد من اطعام الأعداد المتزايدة من الناس يوما بعد يوم والا لجأت الدول للحروب ، وقد أصبحت الأحياء الدقيقة مقررمة فى أغذية الحيوانات فعلا . ولعلها مسألة وقت قبل أن تصبح الأحياء الدقيقة أغذية مقبولة من عامة الناس . وفى الوقت الحالى يستهلك اليابانيون كميات كبيرة من الطحالب فى غذائهم فعلا . كما يستهلك الغرب كميات كبيرة من فطر عيش الغراب Mushroom فى غذائهم والمعتقد أن الفقع الشائع الانتشار فى الجزيرة العربية بعد مواسم الأمطار الذى يقبل عليه سكان الجزيرة العربية اقبالا كبيرا ما هو الا أحد أنواع الميكوريزا Mycorrhiza (وهى تعاون بين فطر وجذر

أحد النباتات ينتج عنه منفعة للطرفين) .

أما بالنسبة لانتاج البادئات فهي أيضا صناعة هامة تخدم صناعة منتجات الألبان المختلفة وصناعة المشروبات الكحولية الغازية وغير الغازية . وتخدم صناعة الخبز والمخللات وصناعة المواد الكيميائية المختلفة كصناعة حمض الستريك وحمض الخليك والبيوتانول والميثان والمركبات المستقطبة للضوء و انتاج الفيتامينات والانزيمات والاستيرويدات والبروتينات وحيدة الخلية وغيرها .

والهدف من انتاج البادئات هو الحصول على سلالات نشطة قوية يعتمد عليها في الانتاج بحيث تسود ظروف المزرعة دون السماح للملوثات - ان وجدت - بالنمو ، كما تكون السلالات المستخدمة في هذه البادئات تعمل على اكساب الناتج النهائي صفات مميزة مرغوبة موحدة من دفعة لأخرى . وقد يحتوى البادئ على مزرعة نقية أو مزرعة مختلطة من عدة أحياء دقيقة .

ومن أكثر البادئات المستخدمة بادئات بكتيريا حمض اللاكتيك المختلفة وبادئات بكتيريا حمض الخليك وبادئات بكتيريا حمض البريونيك . وكذلك بادئات خميرة الخباز وبادئات الخمائر المستخدمة في صناعة المشروبات الكحولية وبادئات فطريات انتاج حمض الستريك أو الجبن الركفور وغيرها من المركبات .

كما يتم انتاج بكتيريا الرايزوبيم *Rhizobium* أيضا بكميات كبيرة لحقنها في التربة لتساعد على تثبيت النيتروجين الجوى بالمعيشة التكافلية مع البقوليات .

عاشراً : دور الأحياء الدقيقة في مكافحة الآفات الزراعية

ان مناقشة دور الأحياء الدقيقة كآفات للنبات والانسان والحيوان سيتم مناقشته فيما بعد ، وما نحن بصدد الان هو مناقشة دور الأحياء الدقيقة في مكافحة الآفات الزراعية ، فقد استخدم الكبريت من قديم الزمان لمقاومة كثير من أمراض النبات الفطرية . . والواقع أن استخدام الكبريت كمبيد فطري يعتمد على وجود بكتيريا ثيوباسيلس *Thiobacillus* التي تؤكسد الكبريت ببطء الى حمض الكبريتيك H_2SO_4 على سطح النبات وتؤدي بلطف الى تكوين وسط شديد الحموضة فتثبط نمو الفطريات وغيرها من الأحياء الدقيقة المرضية .

والمكافحة البيولوجية لأمراض النبات وغيرها من الآفات الزراعية بواسطة التشجيع المتعمد للأحياء الدقيقة المقاومة للآفات قد نجح في بعض الحالات . فقد شنت حرب بيولوجية ضد الأرانب (وكانت تعتبر آفة زراعية خطيرة في ذلك الوقت) في أوروبا قبل أكثر من ثلاثين عاماً . . ففي مايو عام ١٩٥٢م تم إعداد بضع أرانب بمرض من أمراض الفيروسات المخاطية ثم أطلق سراحها في أور Eure ولوار Loire فانتشر المرض بين الأرانب عند نهاية عام ١٩٥٣ في ٢٦ مقاطعة في فرنسا ووصل الى بلجيكا وهولندا وسويسرا وألمانيا ، وقتل نسبة تتراوح بين ٦٠ الى ٩٠% من الأرانب ، ثم وصل المرض بعد ذلك الى بريطانيا ، وهو متوطن الآن في كل أوروبا ، وتكتسب الأرانب المناعة ضد المرض ببطء شديد ، وقد زادت الانتاجية الزراعية لبعض المناطق ثلاث أضعاف نتيجة القضاء على الأرانب ، ولولا هذا المرض لكان انعاش الزراعة في أوروبا بعد الحرب أمراً عسيراً .

وفي الامكان أيضا مكافحة العديد من الحشرات التي تسبب خسائر في المحاصيل الاقتصادية ، وخاصة تلك التابعة لعائلة *Lepidoptera* بيكتيريا ممرضة لها بما يسبب القضاء على الحشرة والحفاظ على المحصول . فقد وجد أن بكتيريا *Bacillus thuringensis* وبكتيريات آخر مشابهة لها تصيب يرقات (ديدان) العديد من

الحشرات وخاصة تلك التابعة لعائلة قشريات الأجنحة (الفراشات وأبو دقيق) . وقد وجد أن هذه البكتيريا عندما تتجرثم يتكسبون بداخلها بللورات من بروتين سام للديدان (حيث يؤدي البروتين النقي الى ظهور نفس الأعراض التي تصيب اليرقات عند اصابتها بالبكتيريا المذكورة) وهذا البروتين غير قابل للذوبان في الوسط الحمضي أو المتعادل ، ولكنه يذوب في الوسط القلوي . ولما كان الوسط في أحشاء تلك الديدان قلوي خفيف ، فان هذا البروتين يذوب وينتج عنه ذوبان الطبقة اللاصقة بين خلايا أحشاء الديدان فتنتشر مكونات الأحشاء في دم اليرقة فيصبح شديد القلوية وتبدأ عملية الموت السريع لليرقة (الدودة) . وهذا البروتين غير سام للحيوانات الفقارية أو النباتات . ولذلك فهذا البروتين يعتبر طريقة مثلى لمقاومة كثير من الحشرات الضارة برشه على النباتات المصابة بديدان هذه الحشرات . وفي التطبيق العملي لا يستخدم البروتين نفسه في الرش ، ولكن يستخدم البكتيريا المنتجة له بعد تجفيفها وادخالها في مواد الرش . .

وينبغي الحذر واستعمال السلالات النقية من هذا الميكروب ، فبينما B. thuringensis غير ضارة بالانسان أو النبات ، فهناك ميكروب مشابه له بدرجة كبيرة وهو B. cereus وهو ميكروب ممرض للانسان .

هذا . . . وقد بذلت عدة محاولات غير ناجحة لمكافحة الجراد ببعض أنواع البكتيريا ، وتوجد محاولات كثيرة حالياً للمقاومة البيولوجية بواسطة الأحياء الدقيقة لكثير من الآفات كالحشرات والفطريات والحشائش . . والبحوث في هذا الاتجاه على أشدها بعد أن ظهر للناس الآثار السيئة للمبيدات الكيميائية المختلفة التي تستخدم لمكافحة الحشرات والفطريات والحشائش . فكثير من المبيدات تتميز بدرجة عالية من الثبات فتصبح خطيرة جداً على الانسان والبيئة والطبيعة .

وقد استغل الانسان معلوماته في مجال مكافحة الحيوانات والآفات الزراعية في تطوير وسائل مدمرة للحياة وذلك باستخدام الأحياء الدقيقة الممرضة للانسان ونواتجها السامة لتحطيم الانسان وقتله وقتل

حيواناته النافعة ونباتاته الاقتصادية ، وهى ما تعرف الآن بوسائل
الحرب الحيوية Biological warfare

حادى عشر : دور الأحياء الدقيقة فى انتاج ألياف الأنسجة

تستخدم الأحياء الدقيقة فى عملية تعطين لبعض الأنسجة النباتية للحصول على الألياف المستخدمة فى صناعة الأنسجة . وأقدم طرق التعطين هى تعطين ألياف الكتان ، وقد عرفت منذ آلاف السنين بهدف فصل الألياف السيليلوزية عن باقى المواد العضوية فى النبات ، ثم تستخدم الألياف فى صناعة الأنسجة . تلتصق الألياف السيليلوزية فى النبات ببعضها بمواد أسمنتية من البكتين يصعب التخلص منها بالطرق الطبيعية ويؤدى التعطين الى تحليل البكتين وفصل الألياف عن بعضها دون حدوث تحليل للألياف ، وتتم هذه العملية بغمر النباتات فى الماء فتبدأ الأحياء الدقيقة الهوائية فى النمو فى بداية الأمر حتى يستهلك الأكسجين الذائب ، وتصبح الظروف غير هوائية فتبدأ بكتيريا حمض البيوتريك اللاهوائية فى النمو وتحلل البكتين وتحرر الألياف ، وإذا طالت عملية التخمير هذه فإن البكتيريا المحللة للسيليلوز قد تنمو وتسبب تحلل الألياف .

وتستخدم طرق مماثلة لتحرير الخلايا النشوية فى درنات البطاطس من البكتين وذلك للحصول على نشا البطاطس .

ثانى عشر : دور الأحياء الدقيقة فى معاونة الأحياء الأخرى

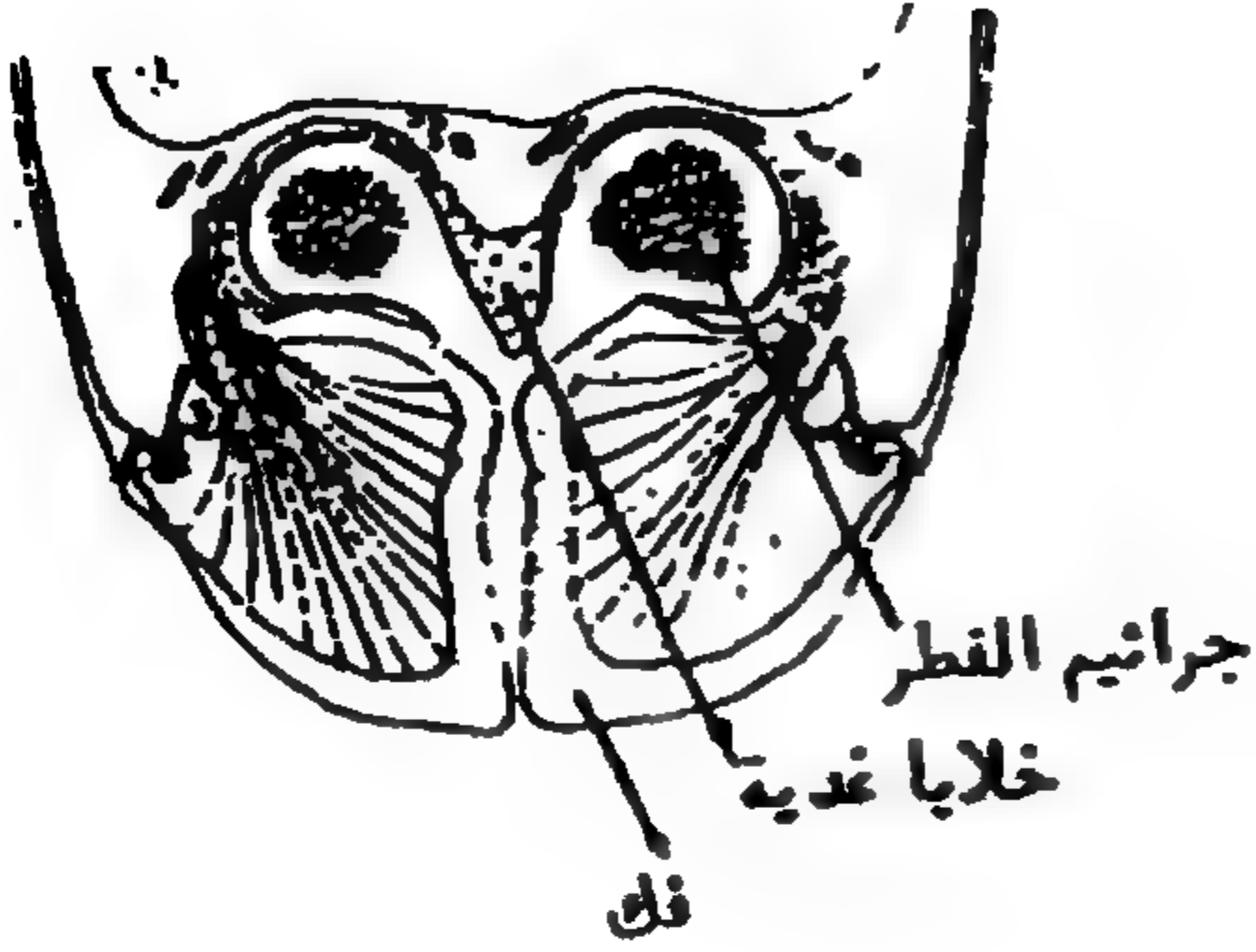
تعيش كثير من الأحياء الراقية معيشة حرة ، كذلك الحال بالنسبة للأحياء الدقيقة ، إلا أن عدد ليس بالقليل من الأحياء الدقيقة تعيش معيشة تكافلية Mutualistic symbioses مع أحياء أخرى (بما فى ذلك الانسان والحيوان والنبات) يعاونها ويستفيد منها .

وتوجد أمثلة كثيرة للتعاون بين الأحياء الدقيقة وغيرها من الأحياء سواء الممثلة للضوء أو غير الممثلة للضوء كما يوجد أمثلة للتعاون بين الأحياء الدقيقة وبعضها البعض. وتختلف درجات التعاون بين الكائنات المتكافلة اختلافا كبيرا ، فقد يستفيد الطرفان من التعاون بدرجة متساوية ، وقد يستفيد أحد الطرفين أكثر من استفادة الطرف الآخر ، وعلى أى حال يمكن تقسيم حالات التكافل بصفة عامة إلى نوعين هما :

(١) التكافل الخارجى : Ectosymbiosis

وفيه يبقى الكائن الحى الدقيق خارج خلايا العائل . ومن أمثلة ذلك زراعة الفطريات للتغذى عليها بواسطة بعض أنواع النمل الأبيض Termite والمسماة ترمس Terms ، والخنافس الحفارة للخشب Ambrosia beetles فحشرات النمل الأبيض المعروفة باسم ترمس Terms تبني حجرات خاصة فى أعشاشها للفطريات تسمى حدائق الفطر Fungi garden أما خنافس Ambrosia الحفارة للخشب فيوجد فى رأسها تجاويف خاصة لتخزين جراثيم (أبواغ) الفطر (شكل ٢-٨) التى تنمىها داخل أعشاشها ، وبذلك فهذه الحشرات تشبه الانسان الذى يزرع النباتات ويحميها من الآفات المختلفة ويحسن إنتاجها ويتغذى عليها ويربى الحيوانات ويتغذى عليها أيضا .

وكثيرا ما يختلط الأمر على الباحثين للوهلة الأولى عند مشاهدة أحد الفردين المتكافلين يتغذى بالفعل على الفرد المتكافل الآخر . اذ أن ذلك يتعارض مع فهمنا عن التكافل على أنه ضرورة التواجد التعاونى معا . ولكن عند التعامل مع الأحياء الدقيقة كشريك فى التكافل فاننا فى الحقيقة لابد وأن نتعامل مع مجتمع من الأحياء الدقيقة وليس خلية بخلية . لذلك كثيرا ما تختلف الآراء بالنسبة للتكافل الخارجى .



شكل ٨-٢ : رسم توضيحي لقطاع
خلال رأس خنافس أمبروسيبيلا

Xyleborus monographus

يوضح التجاويف الخاصة لتخزين
جراثيم (أبواغ) الفطر . .



شكل ٩-٢ : تأثير العقد الجذرية على
نمو النبات . اثنين من نباتات البرسيم
الأحمر نميتا في وسط غذائي خالي من
النيتروجين المرتبط . النبات جهة
الشمال بدون عقد جذرية أظهر نموا
ضعيفا للافتقار للنيتروجين . أما
النبات جهة اليمين - ذو العقد
الجذرية فقد نما نموا طبيعيا .

(٢) التكافل الداخلي : Endosymbiosis

وفيه ينمو الكائن الحي الدقيق داخل خلايا العائل ، ويوجد منه أمثلة عديدة للتعاون بين الأحياء الدقيقة من جانب وبين كل من النباتات الزهرية واللازهرية والحيوانات الفقارية واللافقارية وغيرها .

وقد ذكرنا فيما سبق المعيشة التكافلية بين البقوليات والبكتيريا المثبتة للنيتروجين رايزوبيوم *Rhizobium* التي تعيش في العقد الجذرية . وقد وجد أن زراعة البقوليات بدون تكوين العقد الجذرية في تربة خالية من هذه البكتيريا يؤدي الى تكوين نباتات ضعيفة (شكل ٢-١) ومحصول منخفض .

كما أن الميكوريزا *Mycorrhiza* هي أحد الأمثلة الشهيرة لتكافل الفطريات مع جذور النباتات الراقية (شكل ٢-١٠) وتتكون الميكوريزا نتيجة غزو أحد الفطريات لجذور أحد النباتات وتكون أجسام ثمرية ، ويعتقد أن الفقع الشائع الانتشار في الجزيرة العربية هو أحد أنواع الميكوريزا . وهناك دلائل على أن طرفي التكافل في الميكوريزا ليسا متخصصين ، فالفطر الواحد يتعاون مع جذور العديد من النباتات . كما أن جذور نفس النباتات قد تتعاون مع واحد من عدة فطريات لتكوين الميكوريزا .

وتتكافل الفطريات والطحالب معا لتكوين الأشنات *Lichens* وقد تتكون الأشنات بدلا عن ذلك من فطر وبكتيريا خضراء مزرق .

أما بالنسبة للتكافل بين الحيوانات والأحياء الدقيقة فمن أشهر أمثله الحيوانات المجترة والحشرات كالنمل الأبيض *Termites* ، فالحيوانات المجترة تتغذى على أعلاف غنية في السليلوز بينما لا تستطيع هذه الحيوانات انتاج الانزيمات المحللة للسليلوز ، ولذلك تعتمد الحيوانات المجترة على الأحياء الدقيقة (بروتوزوا وبكتيريا) المحللة للسليلوز في هضم غذائها وكذلك الحال بالنسبة لحشرة النمل الأبيض .



شكل ١٠-٢ : ميكوريزا فاجوس
Fagus sybatica سيلفاتيك
توضع الجذور المتفخة والهيفات
الخارجية من سطحها F.N.
Meyer 1966

عن Mycorrhiza and other
plant symbioses Academic
Press, New York.

وقد استغل الانسان التعاون القائم بين البكتيريا وحشرة النمل الأبيض التي تتغذى على أخشاب الأشجار وأخشاب البيوت في مكافحة هذه الحشرة الضارة حيث تحتوى هذه الحشرة في قناتها الهضمية على بكتيريا *Entrobacter ogglomerans* وهي بكتيريا مثبتة للنيتروجين وهاضمة للسليولوز . وهذه البكتيريا حساسة لأملاح التنجستات Tungstate والموليبدنات Molybdenate . أما حشرة النمل الأبيض - ضمن الحشرات الأخرى نفسها ، فلا تتأثر بهذا المبيد الا - نتيجة فقد ها لهذه البكتيريا الهاضمة للسليولوز والمثبتة للنيتروجين ، وتتجه الأبحاث الحديثة لاستخدام مبيدات للنمل الأبيض من التنجستات وأيضا الموليبدنات .

وتتعاون الأحياء الدقيقة مع الانسان نفسه ، فالقناة الهضمية للانسان تحتوى على العديد من الأحياء الدقيقة التي لا غنى له عنها . اذ أن تلك الأحياء الدقيقة تقوم بتكوين مجموعة هامة من الفيتامينات ، واذا تعرض الانسان لأى ظروف تؤدي الى قتل أو ازالة الأحياء الدقيقة من القناة الهضمية مثل تعاطى المضادات الحيوية أو غيرها - من الكيمائيات التي تقتل الأحياء الدقيقة ، فمن الضروري أن يشتمل غذائه على كميات كافية من الفيتامينات ، والا تعرض لأمراض نقص الفيتامينات المختلفة .

وقد أثبتت الدراسات التي أجريت على الحيوانات الخالية من الأحياء الدقيقة Germ free animals أن وجود الأحياء الدقيقة في الأمعاء مهما ليس فقط بسبب ما تنتجه من فيتامينات وعوامل نمو ، ولكن أيضا لأنها تكسب الحيوان مناعة ضد كثير من الأمراض ، فقد ثبت أن الحيوانات الخالية من الأحياء الدقيقة يتضخم المستقيم لديها ويصبح الجهاز الليمفاوي غير مكتمل التكوين ويقل إنتاج الجلوبيولينات في الدم بما يقلل مناعة الجسم للأمراض .

كما أن هناك صورا عديدة للتكافل بين البروتوزوا والطحالب حيث تستقبل بعض الهدبيات وذوات الأقدام الكاذبة بعض الطحالب . وفي المياه العذبة تكون الطحالب المتكافلة من نوع الطحالب الخضراء Chlorophyta أما في مياه البحار فتكون الطحالب المتكافلة من الطحالب البنية أو الصفراء . وفي الحالتين على التوالي يسمى التكافل الناتج باسم الكلوريللا الحيوانية zoochlorellae والزنثيللا الحيوانية Zoonantheae

وتوجد أمثلة عديدة للتكافل بين صور الحياة المختلفة يضيّق المجال هنا عن ذكرها كلها .

ثالث عشر : دور الأحياء الدقيقة في تطوير معارف الإنسان

ان دور الأحياء الدقيقة في اكتشاف الانزيمات وتطور علم الانزيمات Enzymology وعلم الكيمياء الحيوية بصفة عامة مشهود به في جميع المراجع ، بل ان الكثير من الكتب وكذلك المنشورات العربية تسمى الانزيمات خمائر . اذ أن كلمة Enzyme نفسها معناها (في الخميرة) .

كما تقدمت علوم الطب والصيدلة وعلوم الأراضى وخصوبتها وعلوم الأغذية وطرق حفظها وعلوم البيئة والمحافظة عليها . وعلوم أمراض النبات ووقايتها وعلوم الطب البيطرى والثروة الحيوانية وغير ذلك من العلوم مما حدا بالجهات المسئولة عن التعليم في جميع أنحاء العالم الى

الاهتمام بفروع علوم الأحياء الدقيقة اهتماما خاصا ليس فقط لما لها من أهمية في أحداث الأمراض ، بل للأدوار الكثيرة والمتعددة التي تلعبها في مختلف مجالات الحياة .

ونتيجة للإمكانات الهائلة للأحياء الدقيقة في العديد من المجالات ، فقد أرسيت حديثا قواعد علم جديد ، وهو علم التقنية الحيوية Biotechnology والذي يهدف الى استخدام الأحياء الدقيقة بقدراتها المختلفة في انتاج مواد يستفيد منها الانسان أو التخلص من مواد يرغب التخلص منها . . . ولم يقتصر الأمر على ذلك ، بل أن معارف الانسان الحالية في مجال الوراثة والبيولوجيا الجزيئية ترجع بصفة أساسية للأحياء الدقيقة ، وكان للأحياء الدقيقة أكبر الفضل في كشف الشفرة الوراثية Genetic code وكيفية بناء البروتين والأحماض النووية (وهما أهم مكونات الكائنات الحية) وكيفية التحكم في بناء المركبات المختلفة في الخلايا بواسطة المورثات (الجينات) المختلفة ، وكذلك نقل الصفات الوراثية من جيل الى جيل . وقد توصل العلماء حاليا الى ارساء قواعد علم جديد آخر ، وهو علم الهندسة الوراثية Genetic engineering وذلك بعد أن تقدمت تقنية تكوين خلطات من الحمض النووي من Recombinant DNA technology وبدأ الانسان في استغلال هذه التقنية مرة ثانية من أجل تطوير أحياء دقيقة ضارية (كوسائل للحرب البيولوجية) أو من أجل تنشيط أو تعطيل عمل مورثات (جينات) معينة ، وقد بدأت التقارير العلمية الحديثة تحمل أنباء مواد كيميائية تستخدم في معالجة المورثات Gene therapy .

وفي الحقيقة أن هذا الموضوع مازال معروضا على هيئة الأغذية والأدوية الأمريكية Food & Drug Administration للبت في انتاج مثل تلك المواد الكيميائية وعرضها في الأسواق (ASM news july 1985, pp322-3) كما يمكن الآن نقل مورثات تخزين البروتين في البقوليات الى بكتيريا القولون والمعروفة بسرعة نموها على أساس إمكانية الاستفادة من البكتيريا في انتاج كميات كبيرة من البروتين في فترات زمنية قصيرة دون الحاجة للانتظار الى المواسم الزراعية من عام لعام والتي يتحدد

الانتاج فيها بمساحة الأرض الزراعية .

رابع عشر ، دور الأحياء الدقيقة في إحداث الأمراض

تسبب الأحياء الدقيقة بأقسامها المختلفة (الخلوية بقسميها حقيقية النواة وبدائية النواة) وغير الخلوية . أمراضا عديدة للإنسان والحيوان والنبات ، وهذا هو الدور السلبي للأحياء الدقيقة الذي دفع الإنسان في بادئ الأمر الى الاهتمام بالأحياء الدقيقة . ورغمما عن ذلك الدور الايجابي الهام الذي تلعبه الأحياء الدقيقة في استمرار الحياة على الأرض ورغمما عن كل ما تؤديه من فوائد (النقاط الثلاث عشر السابقة) للإنسان وغيره من الكائنات الحية فان جل اهتمام الإنسان بالأحياء الدقيقة لم يبدأ الا لكونها تسبب الأمراض .

وما زال العديد من الناس يصاب بالرعب والذعر لمجرد معرفة أن الأحياء الدقيقة تعيش في الجو المحيط بنا وعلى سطح جلدنا بل وفي أحشائنا أيضا ، والسبب في ذلك بسيط اذ أننا جميعنا نكره المرض وندعم بحماس البحوث التي تهدف الى تفهم أسباب الأمراض المختلفة وكيفية علاجها ، وذلك واضح فيما يصرف على أبحاث أمراض السرطان وأبحاث مرض الايدز AIDS (وهي رمز للاسم الحقيقي للمرض . . وهو الفقد المكتسب للمناعة Acquired Immune Deficiency Syndrome) بيد أننا قد نتحفظ عندما يتعلق الأمر بدراسة الفقع أو بيئة الميكوريزا أو الأشنات أو غيرها . لذلك فقد ازدهرت علوم الأحياء الدقيقة (الميكروبيولوجيا) الطبية ازدهارا كبيرا خلال الخمسون سنة الماضية . . وقد أدى ذلك الى ترك الميكروبيولوجيا غير الطبية في حالة مهملية الى حد ما الى أن بدأ تفهم الناس للدور الايجابي الهام للأحياء الدقيقة فاستثمرت أموال طائلة في جميع مجالات الأحياء الدقيقة بما أدى الى اكتشافات هامة في مجالات الوراثة والطب والصيدلة والكيمياء الحيوية والميكروبيولوجيا التطبيقية وعلوم البيئة ، كما أدت هذه الاكتشافات الى ارساء قواعد علوم جديدة — كما سبق الإشارة الى ذلك — مثل الهندسة

الوراثية والتقنية الحيوية والبيولوجيا الجزيئية وغيرها .

ويوضح الجدول (٢-٤) بعض الأمراض المختلفة ومسبباتها من ذوات النواة الحقيقية وذوات النواة البدائية وكذلك الفيروسات في الانسان والحيوان . كما يوضح الجدول (٢-٥) أمثلة لبعض الأمراض النباتية المختلفة ومسبباتها من الأحياء الدقيقة حقيقية النواة أو بدائية النواة أو الفيروسات .

جدول ٢-٤ : بعض الأمراض التي تسببها الأحياء الدقيقة
حقيقية النواة وبدائية النواة والفيروسات للإنسان والحيوان
ومسبباتها وأعراضها ...

المرض	مسبباته	الأعراض المرضية	طريقة العدوى
(١) الأمراض الناتجة عن ذوات النواة الحقيقية (الهوتوزوا)			
أ - السوطيات			
اسهال السوطيات	<u>Giardia lamblia</u>	تصيب بعض الحيوانات والإنسان وتسبب الاسهال .	تناول غذاء أو شراب ملوث بفضلات إنسان مريض عن طريق الذهاب .
عدوى القناة البولية التناسلية	<u>Trichomonas vaginalis</u>	التهاب وآلام في القناة البولية التناسلية لبعض الحيوانات .. والإنسان .	الاتصال الجنسي
مرض النوم الأفريقي	<u>Trypanosoma gambiense</u> <u>T. rhodesiense</u>	وهي تصيب عدد كبير من ذوات الدم الحار والبارد ، فهي تتطفل على كثير من الأسماك والبرمائيات والزواحف والطيور والثدييات وتسبب مرض النوم في الإنسان	ذبابة تسي تسي ذبابة تسي تسي
مرض الدراق الطفيلي أو داء شاغاس الأمريكي .	<u>T. cruzi</u>		حشرة تريايتوميد Triatomid
مرض الليشمانيا	<u>Leishmania donovani</u>	إصابة الكبد أو الطحال أو العقد الليمفاوية أو نخاع العظم .	ذبابة الرمل Phlebotomus
مرض الليشمانيا	<u>L. tropica</u>	تدب جلدية Skin lesions	ذبابة الرمل
مرض الليشمانيا	<u>L. braziliensis</u>	إصابة أنفيلعومية	ذبابة الرمل

تابع : جدول ٢-٤ : بعض الأمراض التي تسببها الأحياء الدقيقة
حقيقية النواة وبدائية النواة والفيروسات للإنسان والحيوان
ومسبباتها واعراضها ...

طريقة العدوى	الأعراض المرضية	مسبباته	المرض
		ب - ذوات الأقدام الكاذبة :-	
تناول مأكولات أو مشروبات ملوثة بالأكياس الأميبية .	اسهال ، وقد تصل العدوى إلى الكبد أو الطحال ، أو المخ مع الدم .	<u>Entamoeba histolytica</u>	دوستناريا أميبية
اختراق الأغشية المخاطية .	التهاب أميبى للأغشية السحائية الدماغية .	<u>Naeglaria sp.</u>	
		ج - الهدبيات -	
تناول مأكولات أو مشروبات ملوثة بفضلات شخص مريض .	اسهال	<u>Balantidium coli</u>	الدوستناريا البلانيدية
		د - الجرثومات :-	
أنثى بعوض الأنوفيليس	حمى ورعشة تأتي بصفة دورية مصحوبة بفقر دم .	<u>Plasmodium falciparum</u> <u>P. vivax, P. ovale</u> <u>P. malariae</u>	المالاريا
تناول أغذية ملوثة ومشروبات ملوثة بفضلات شخص مريض .	اسهال والتهاب في الأمعاء	<u>Isospora belli</u> <u>I. humani</u>	التهاب الأمعاء
		(٢) الأمراض الناتجة عن ذوات النواة الحقيقية (الفطريات)	
الخميرة توجد طبيعياً في العشاء المخاطي للفتاة الهضمية والفتاة التنفسية ، والمهبل في الإناث وتتحول للعدوى عند ما تضعف قدرة الجسم المناعية نتيجة تعاطي العقاقير الحيوية أو نتيجة الإصابة بأمراض أخرى	قد تسبب بثرات أو بقع جلدية أو على الفم أو في المهبل أو الرئتين أو تغزو الجسم كله .	<u>Candida albicans</u> <u>Candidiasis</u>	

تابع : جدول ٢-٤ : بعض الأمراض التي تسببها الأحياء الدقيقة
حقيقية النواة ومدائية النواة والفيروسات للإنسان والحيوان
ومسبباتها وأعراضها ...

المرض	مسبباته	الأعراض المرضية	طريقة العدوى
التهاب مزمن للأغشية السحائية Cryptocosis	<u>Cryptococcus</u> <u>neoformans</u>	التهاب الأغشية السحائية وظهور بثرات أو بقع جلدية أو فـسـى الرئتين ، وقد يؤدي الإهمال في العلاج إلى الموت .	فضلات الطيور هي المصدر الرئيسي ولا ينتقل المرض من شخص إلى شخص .
Blastomycosis	بلاستومايسيس ديرماتيتيس <u>Blastomyces</u> <u>dermatitides</u>	قد تنحصر العدوى على الرئتين ، وقد تنتشر خلال الجسم كله في ذلك الجلد والعظام والأعضاء والأغشية السحائية وتظهر على الجلد دمل وأورام حببية ، وتصيب الإنسان وعدد من الحيوانات .	حيث أن الميكروب مصدره التربة فإن ابتلاع التراب واستنشاقه هو وسيلة العدوى ، ولا ينتقل المرض من شخص إلى شخص .
Coccidioidoses	<u>Coccidioides immitis</u>	تحدث إصابة في الجهاز التنفسى تشبه أعراض الانفلونزا . ونادراً ما ينتشر المرض إلى جميع أعضاء الجسم مسبباً أعراضاً تشبه أعراض المل . وقد يمتد أيضاً للجهاز العصبي وهي تصيب الإنسان وعدد من الحيوانات .	ابتلاع التراب أو استنشاقه ، ولا ينتقل المرض من شخص إلى شخص .
Geotrichiases	<u>Geotrichum</u> <u>candidum</u>	التهاب شعبي وبثرات على الجلد وتصيب الحيوان والإنسان .	قد تحدث العدوى عن طريق الفم والقناة الهضمية

تابع : جدول ٢-٤ : بعض الأمراض التي تسببها الأحياء الدقيقة
حقيقية النواة وبدائية النواة والفيروسات للإنسان والحيوان
ومسبباتها وأعراضها . . .

المرض	مسبباته	الأمراض المرضية	طريقة العدوى
ب - الأمراض الجلدية Dermatomycoses			
مرض القوباء Tinea	<u>Trichophyton</u>	يستطيع أن ينمو على الجلد أو في الشعر أو تحت الأظافر	تنتقل بالاتصال المباشر بين الأشخاص المرضى والأصحاء ، أو من طريق شعر ملوث أو قشر الرأس
	<u>Microsporum</u>	يستطيع أن ينمو على الجلد وأحيانا تحت الأظافر .	
	<u>Epidermophyton</u>	هذه الفطريات مسئولة عن أمراض القوباء التي تصيب الجلد سواء المفتى بالشعر أو بدون شعر . كما أنها تسبب اهتراء جلد أصابع القدمين المعروفة باسم أقدام الرياضيين tinea pedis وتعتبر الحيوانات كالكلاب والقطط مستودعا طبيعيا لهذه الميكروبات وخاصة تلك التي تسبب القوباء الحلقية في الرأس .	
ج - الأمراض تحت الجلدية Subcutaneous			
تقرحات جلدية	<u>Sporotrichum schenkii</u>	تتكون قرح جلدية تسببها سبوروتريخوس Sporotrichose والميكروب معدره التربة ، ولكنه يصل الى ما تحت الجلد من عدة طرق . وهي تصيب الانسان وعدد من الحيوانات .	تنتقل الى تحت الجلد من خلال التشققات الجلدية أو وخز الشوك أو الأبر أو الجروح وغيرها .
(٢) الأمراض الناتجة عن ذوات النواة البدائية (البكتيريا)			
حمى لتيفويد Typhoid fever	<u>Salmonella typhi</u>	يتكاثر الميكروب في القناة الهضمية ثم يفرز في الدم عن طريق اللعاب والقناة الزهرية ومنها ينتشر الى جميع أنحاء الجسم .	تناول مأكولات أو مشروبات ملوثة بفغلات شخص مريض .

تابع: جدول: ٢-٤ : بعض الأمراض التي تسببها الأحياء الدقيقة
حقيقية النواة وبدائية النواة والفيروسات للإنسان والحيوان
ومسبباتها وأعراضها ...

طريقة العدوى	الأمراض المرفقة	مسبباته	المرض
تناول مسدء أو مشروبات ملوثة بمخلفات شخص مريض بالذهاب . وعمل المطاعم وعدم التخلص من القمامة الخ قد تلعب دورا في انتشار المرض .	اسهال شديد يؤدي إلى تجفيف الجسم . قد في ألام الجسم قد ينتهي بعدمه مصيبة ثم الموت .	<u>Vibrio cholerae</u>	الكوليرا
تناول مسدء ، أو مشروبات ملوثة بمخلفات شخص مريض .	اسهال وبشرات عند نهاية القناة الهضمية . وشدة مغلي بطني وحى .	<u>Shigella</u> <u>dysenteriae</u>	الدوبنتاريا البكتيرية B. dysentery
ابتلاع الرذاذ الناتج عن المرضى أثناء الكحة والعطس .	يظل الميكروب في الغشاء المخاطي للقناة التنفسية ويخرج مواد سامة تنتشر خلال الجسم تحدث آلاما موضعية وتتكون أفشسية كألمة دفتيرية تفلق ممرات الهواء عند التنفس .	<u>Corynebacterium</u> <u>diphtheria</u>	الدفتيريا Diphtheria
تناول مأكولات .. أو مشروبات ملوثة بمخلفات شخص مريض الذهاب وعمل المطاعم . واستعمال أدوات الشخص قد تساعد على انتقال المرض .	هذا النوع من الحمى المعوية أخف تأثيرا من حمى التيفوئيد ، ولذلك يسمى أحيانا شبه التيفوئيد وقد تظل هذه البكتيريا في الأمعاء .. أو تنتشر خلال الجسم كله	<u>Salmonella</u> <u>typhimorium</u> <u>S. schothmulleri</u> <u>S. choleraesuis</u>	الحمى المعوية والتسمم الغذائي (باراتيفوئيد) Enteric fevers

تابع: جدول ٢-٤: بعض الأمراض التي تسببها الأحياء الدقيقة
حقيقية النواة وبدائية النواة والفيروسات للإنسان والحيوان
ومسبباتها وأعراضها . . .

المرض	مسبباته	الأعراض المرضية	طريقة العدوى
السل Tuberculosis	<u>Mycobacterium tuberculosis</u>	تكون بثرات على الرئتين مصحوبة بكحة شديدة . وقد ينتشر الميكروب من البثرات إلى أجزاء أخرى بالجسم وإلى أشخاص آخرين عن طريق الرذاذ .	ابتلاع الرذاذ الناتج عن المرضى أثناء الكحة والعطس
الطاعون Plague	<u>Yersinia pestis</u>	تضخم العقد الليمفاوية . وعندما تصل العدوى إلى الرئتين يصبح الشخص معدي ، والمرضى ينتقل بسرعة بين الأشخاص الذين يعيشون في مكان واحد .	ابتلاع الرذاذ الناتج عن المرضى أثناء الكحة والعطس وعن طريق الفئران والبراغيث . والفئران هي المستودع الطبيعي للميكروب .
التهاب الأغشية السحائية . . Meningococcal meningitis	<u>Neisseria meningitidis</u>	يوجد الميكروب طبيعياً في الزور في حوالي ٢٥٪ من الناس ولكنه لأسباب غير معروفة يفرز الدورة الدموية ويصل للأغشية السحائية التي تحيط بالحبل العصبي .	ابتلاع الرذاذ الناتج عن المرضى أثناء الكحة والعطس .
حمى سكارلت Scarlet fever	<u>Streptococcus pyogenes</u>	تظهر الإصابة أولاً في الزور . ثم تظهر آلام جلدية . وقد تتحول إلى آلام روماتيزمية فيما بعد .	ابتلاع الرذاذ الناتج عن الأشخاص المرضى أثناء الكحة والعطس . .
الانفلونزا البكتيرية	<u>Hemophilus influenza</u>	إصابة الجهاز التنفسي وخاصة في الأطفال وينتج عنها التهاب الأغشية السحائية في الدماغ في الأطفال بصفة خاصة .	ابتلاع الرذاذ الناتج عن الكحة والعطس للأشخاص المرضى .
السعال الديكي Whooping cough	<u>Bordetella Pertussis</u>	يسبب كحة خاصة تنتهي بسعال يشبه صياح الديك .	ابتلاع الرذاذ الناتج عن الكحة والعطس للأشخاص المرضى .

تابع : جدول ٢-٤ : بعض الأمراض التي تسببها الأحياء الدقيقة
حقيقية النواة وبدائية النواة والفيروسات للانسان والحيوان
ومسبباتها وأعراضها ...

طريقة العدوى	الأعراض المرضية	مسبباته	المرض
ابتلاع السرداذ الناتج عن الكحة والعطس للأشخاص المرضى .	حوالي ٤٠ - ٧٠ ٪ يحملون الميكروب بصفة طبيعية في الزور . ويتحول الميكروب الى الحالة المرضية عندما تضعف مناعة الجسم أو عند إصابته بأمراض أخرى .	<u>Streptococcus</u> <u>pneumonia</u>	الالتهاب الرئوي Pneumococcal Pneumonia
الاتصال المباشر	المرض يصيب عادة الحيوانات الأليفة والبرية بها في ذلك الثدييات والطيور والزواحف ... ولكنه يصيب الانسان عند اتصاله المباشر بالحيوان عن طريق الجروح ويتكون انتفاخ كبير عند مكان الإصابة ، وعادة يصحب ذلك انتشار البكتيريا في جميع أنحاء الجسم عن طريق الدم .	<u>Bacillus</u> <u>anthracis</u>	الحمى الفحمية أو الجمرة الخبيثة Anthrax
الاتصال المباشر ، وعن طريق الحشرات . والمستودع الطبيعي للميكروب هو الفئران البرية .	ينتشر المرض عادة بين الفئران وقد ينتقل للانسان بواسطة الحشرات أو عند تداول جلد أو أحشاء الحيوانات المريضة . وينتشر الميكروب في الدم عن طريق العقدة الليمفاوية وتتكون بثرات في الرئتين والطحال والكبد ، وقد يصل الى المنخ أيضا .	<u>Francisella</u> <u>tularensis</u>	التلرييميا Tularemia
الاتصال المباشر .	تصيب السلالات الثلاث مدى واسع من الحيوانات الثديية . رغم أن كلا منها له عوائل مفضلة . وهي تسبب الاجهاض في الماشية . كما أنها تصيب الانسان وتتكاثر داخل كرات الدم البيضاء حيث تعمل على انفجار هذه الخلايا بصفة دورية وتعرف حينئذ بالحمى المتعرجة Undulant fever	<u>Brucella</u> <u>melitensis</u> <u>B. abortis</u> <u>B. suis</u>	البروسيللا Brucellosis

تابع: جدول ٢-٤: بعض الأمراض التي تسببها الأحياء الدقيقة
حقيقية النواة وبدائية النواة والفيروسات للإنسان والحيوان
ومسبباتها وأعراضها...

المرض	مسبباته	الأعراض المرضية	طريقة العدوى
السيلان Gonorrhea	نيسيريا جونوريا <u>Neisseria gonorrhoeae</u>	رغم أن العدوى تكون عادة محدودة في الجهاز التناسلي، إلا أنها قد تتطور وتنتشر في الجسم كله. والأطفال المولودين من أمهات مريضة بالسيلان قد يصابون في العين خلال مرورهم من القناة التناسلية عند الولادة.	ينتقل خلال الاتصال الجنسي.
الزهرى Syphilis	تريبونيميا بلالايديم <u>Treponema pallidum</u>	تكون العدوى أيضا في الجهاز التناسلي ولكنها قد تنتقل للمولود من أمهات مرضى أثناء الولادة. وبعد الاتصال الجنسي فإن الميكروب يخترق الفشاء المخاطي للأعضاء الجنسية ويكون بثرات أولية Chancres وبعد أسابيع تتكون بثرات ثانوية في المفاصل والعظام والمفاصل وحتى الجهاز العصبي المركزي، وإذا لم يعالج فإنه بعد عدة سنوات قد تتكون بثرات ثالثة عند صمامات القلب.	ينتقل خلال الاتصال الجنسي.
التيتانوس Tetanus	كلوستريديم تيتانوس <u>Clostridium tetani</u>	الميكروب مصدره الطبيعي التربة وفضلات الحيوانات ولكن لا يوجد في فضلات الإنسان وهو ميكروب لا هوائي حتمي وعند تلوث الجروح به وخاصة الجروح الفائرة حيث تتوفر الظروف اللاهوائية فإن الميكروب ينمو وينتج مواد سامة تؤثر على الحبل العصبي.	عن طريق الجروح.
الغنفرينا Gas gangrene	<u>Clostridium perfringens</u> <u>Cl. novyi</u> <u>Cl. septicum</u>	وكلها ميكروبات لا هوائية حتمية وعند تلوث الجروح فإن نموها يكون مصحوبا بالتخمر وتنتج غاز الهيدروجين ومواد سامة.	عن طريق الجروح.

تابع : جدول ٢-٤ : بعض الأمراض التي تسببها الأحياء الدقيقة
حقيقية النواة وبدائية النواة والفيروسات للإنسان والحيوان
ومسبباتها وأعراضها . . .

المرض	مسبباته	الأعراض المرضية	طريقة العدوى
Leptosperosis	<u>Leptospira</u> <u>icterohaemorrhagiae</u> <u>L. canicola</u> <u>L. Pomona</u>	تسبب هذه الميكروبات أعراض بسيطة مزمنة في الفئران تؤدي إلى إفراز هذه الميكروبات بصفة دائمة في بول الفئران وينتج المرض عن تلامس الإنسان مع الفئران وخاصة بولها حيث تخترق الميكروبات الجلد وتنتشر في الدم .	عن طريق الجروح .
التيفوس أو الحمى النمشية Typhus	ركتسيا <u>Richettsia</u>	يحمل الميكروب من شخص إلى شخص بواسطة القمل والبراغيث . والمستودع الطبيعي هو الهوام كالفئران ، وتسبب نسبة عالية من الموت في الإنسان عن انتشارها وأكثر شهرة في الشرق الأقصى .	لدغ الحشرات .
التيفوس الجرب Scrub typhus	ركتسيا <u>Richettsia</u>	وهو معروف أيضا في الشرق الأقصى والمستودع الطبيعي للميكروب هو الحشرات الصغيرة ، وينتقل من جمل إلى جمل عبر البيض وينتقل للفئران عن طريق العناكب والمفصليات . ولذلك فالفئران مستودع ثانوي وينتقل منها للإنسان بواسطة لدغ البراغيث .	لدغ الحشرات .
حمى كيو Q fever	ركتسيا <u>Richettsia</u>	يسبب هذا الميكروب عدد من الحيوانات (عدا الإنسان) كالماعز والغنم والأبقار . وقد يصل الميكروب إلى الإنسان عن طريق شرب لبن ملوث عن طريق الاتصال المباشر بحيوانات المزرعة .	عن طريق الاتصال المباشر بحيوانات المزرعة المصابة أو لدغ الحشرات أو شرب لبن ملوث أو استنشاق هواء ملوث بالميكروب .

تابع : جدول ٢-٤ : بعض الأمراض التي تسببها الأحياء الدقيقة
حقيقية النواة وبدائية النواة والفيروسات للانسان والحيوان
ومسبباتها وأعراضها . . .

المرض	مسبباته	الأعراض المرضية	طريقة العدوى
حمى البهقاء Psitticosis	<u>Chlamydia</u> <u>psittaci</u>	التهاب الرئتين . حمى	وصول فضلات الطيور المريضة الى هواة تنفس الانسان .
Lymphogranuloma venereum	<u>C. trachomatis</u> وأحيانا <u>C. psittaci</u>	تقرحات جلدية وتضخم العقد الليمفاوية في أماكن الأعضاء الجنسية من الجسم .	الاتصال الجنسي مع المرضى .
التراكوما Trachoma	<u>C. trachomatis</u>	تقرحات جلدية للعين والمناطق المحيطة بها ، وقد تصل الى حد العمى .	دعك العين باليد الملوثة أو أى أشياء أخرى ملوثة .
التهاب الملتحمة Inclusion Conjunctivitis	<u>C. trachomatis</u>	التهاب الملتحمة - الغشاء المخاطي لباطن الجفن .	المواليد حديثي الولادة قد تتلوث عيونهم عند الولادة من القناة التناسلية للأمهات المرضي . أما البالغين فتحدث الإصابة عند الاتصال الجنسي واستعمال أصابعهم لدعك عيونهم فيما بعد .

تابع : جدول ٢-٤ : بعض الأمراض التي تسببها الأحياء الدقيقة
حقيقية النواة وبدائية النواة والفيروسات للانسان والحيوان
ومسبباتها وأعراضها . . .

المرض	الميكروب المسبب	بيانات خاصة
(٣) الأمراض الناتجة عن الأحياء الدقيقة غير الخلوية (الفيروسات)		
شلل الأطفال في الانسان	فيروس بوليو Poliovirus	يوجد الفيروس في براز الانسان السليم . ويصيب الأطفال الصغيرة في السن ونسبة بسيطة من الأطفال الذين يصابون بهذا المرض يحدث لهم شلل . والفيروس من فيروسات البكورونا .
الحمى القلاعية أو القدم والفم	فيروس القدم والفم Foot and Mouth Disease Virus (FMDV)	وهو مرض حاد سريع الانتشار في الحيوانات مشقوقة الظلف مثل الأبقار والأغنام والماعز . ترتفع درجة الحرارة وتحدث تقرحات في الفم وبهين الأظلاف ويسبب نفوق الصغار . ونقص انتاج اللبن ونقص وزن الحيوان . والفيروس من فيروسات البكورونا .
التهاب المخ الشوكي في الطيور .	فيروس التهاب المخ الشوكي في الطيور . Avian encephalitis virus	يحدث المرض في الكتاكيت عمر ٢ - ٣ أسابيع فتضعف عضلات الأرجل ولا تقدر على المشي . ويحدث ارتعاش في الرأس والرقبة ولا تستطيع الوصول للأكل وتنام على الجانب وتموت . والفيروس المسبب من فيروسات البكورونا .
الحصبة الألمانية Rubella في الانسان .	فيروس الحصبة الألماني Rubivirus	أعراض جلدية على هيئة بثرات حمراء اللون وتشوهات في المواليد وحمى وارتفاع في درجة الحرارة وصعوبة في التنفس . والفيروس من فيروسات التوجا .
الحمى الصفراء في الانسان	فيروس الحمى الصفراء أو Yellow fever virus Flavivirus	تختلف شدة المرض من أعراض بسيطة مثل الانفلونزا الى عدوى مفاجئة ومميتة . فيحدث ارتفاع في درجة الحرارة ورعشة وصداع وآلام في الظهر وتظهر أعراض الصفراء في خلال ثلاثة أيام . والفيروس المسبب من فيروسات التوجا .

تابع : جدول : ٢-٤ : بعض الأمراض التي تسببها الأحياء الدقيقة
حقيقية النواة وبدائية النواة والفيروسات للإنسان والحيوان
ومسبباتها وأعراضها . . .

المرض	الميكروب المسبب	بيانات خاصة
الاسهال المركب في الأبقار	فيروس اسهال الأبقار . . Bovine diarrhoea virus	مرض منتشر في جميع أنحاء العالم . ويسبب المرض ارتفاع في درجة الحرارة تستمر الفيروسات في الدم لفترة طويلة وتتراوح نسبة الوفيات في الأبقار من ٤ - ٨ ٪ . وينتقل المرض بالاحتكاك المباشر بين الأبقار المريضة والسليمة . والفيروس المسبب من فيروسات التوجا .
الاسهال الفيروسي في العجول الصغيرة	فيروس الاسهال في العجول Calf diarrheal virus	يصيب الفيروس الأطفال والحيوانات الصغيرة كالعجول والأغنام والطيور ، ويسبب الاسهال في فصل الشتاء والربيع ، وأحيانا على مدار العام في المناطق المعتدلة والشبه استوائية ، والفيروس المسبب من فيروسات الريو .
اللسان الأزرق	فيروس اللسان الأزرق Blue tongue virus	يصيب الحيوانات المجترة عامة والأغنام بصفة خاصة وهو منتشر في جميع أنحاء العالم وخاصة الشرق الأوسط حيث يظهر لون أزرق في كل الأغشية المخاطية للفم واللسان وحول الفم وتصل نسبة النفوق بين ٥ الى ٢٥ ٪ . والفيروس المسبب من فيروسات الريو .
طاعون الخيل	فيروس الحصان الأفريقي African horse sickness virus	يصيب الخيول والحمير والبغال ، وهو مرض وبائى سريع الانتشار بين أفراد العائلة الخيلية ولا يصيب الإنسان والحيوانات الأخرى ، وينتقل الفيروس عن طريق المعوض وتصل نسبة النفوق الى ٩٥ ٪ . والفيروس من فيروسات الريو .
الجمبورو في الطيور	فيروس مرض الجمبورو Gumboro disease virus	يصيب صغار الكتاكيت فيقل الإقبال على الأكل ويصبح الريش خشنا مع اسهال شديد وارتعاش واجهاد ، وتصل نسبة الموت الى ٢٠ - ٣٠ ٪ . والفيروس من فيروسات الريو .

تابع : جدول ٢-٤ : بعض الأمراض التي تسببها الأحياء الدقيقة
حقيقية النواة وبدائية النواة والفيروسات للانسان والحيوان
ومسبباتها وأعراضها . . .

المرض	الميكروب المسبب	بمئات خاصة
التهاب الشعب المعدى فى الطيور	فيروس التهاب الشعب المعدى فى الطيور Avian infectious bronchitis virus	يسبب الفيروس التهاب معدى حاد فى الطيور وينتج عنه خسائر اقتصادية كبيرة فى صناعة الدواجن نتيجة لنقص البيض واللحم ، كما يحدث تشوهات وانخفاض جودة البيض الناتج . والفيروس المسبب من الفيروسات التاجية (الكورونا) .
الاسهال فى العجول حديثى الولادة	فيروس الكورونا فى الأبقار Bovine corona virus	يسبب هذا الفيروس اسهال فى الاسنان والحيوان وخاصة فى الصغار حديثى الولادة ويكون البراز مصحوبا بمخاط . وتتميز بنسبة نفوس عالية . والفيروس المسبب من الفيروسات التاجية (الكورونا) .
حمى وادى الريف فى الانسان والحيوان .	Rift Valley Fever virus	يصيب الفقاريات ويسبب ارتفاع فى الحرارة وآلام شديدة بالمعدة والأمعاء مع نزيف مع انفصال فى الشبكية فى الانسان ، ويسبب وفيات عالية فى الانسان ويسبب اجهاض الأغنام والأبقار الحوامل . وينتقل المرض بواسطة البعوض . والفيروس المسبب من فيروسات بونيا Bunyaviridae .
الانفلونزا فى الانسان والحيوان .	فيروس الانفلونزا Influenza virus	من الفيروسات المخاطية الأصلية Orthomyxovirus ويصيب الانسان والعديد من الحيوانات كالحيول والحيازير والطيور بأنواعها . والاصابة تظهر فى صورة أعراض تنفسية حادة ورشح وارتفاع الحرارة والتهاب رئوى وقد يؤدي الى الموت .
النيوكاسل فى الطيور .	فيروس مرض النيوكاسل Newcastle disease virus	وهو مرض معدى سريع الانتشار . وبشكل المرض خطيرة كبيرة فى صناعة تربية الدواجن فى معظم بلدان العالم وتكون الأعراض على صورة اسهال مدم وارتعاشات والتواء وتقلص الرقبة وشلل فى الأرجل والأجنحة ونزيف فى القناة الهضمية . وقد تحدث الاصابة فى الجهاز التنفسي والعصبي ، وقد تصل نسبة النفوس الى ٩٠ - ١٠٠ ٪ . والفيروس المسبب من الفيروسات شبه المخاطية Paramyxoviruses .

تابع : جدول ٢-٤ : بعض الأمراض التي تسببها الأحياء الدقيقة
حقيقية النواة وبدائية النواة والفيروسات للانسان والحيوان
ومسبباتها وأعراضها . . .

المرض	الميكروب المسبب	بيانات خاصة
الحصبة في الانسان	فيروس الحصبة Measels virus	يصيب الأطفال عادة . وتختلف شدته من أعراض بسيطة الى أعراض حادة تظهر على صورة ارتفاع في درجة الحرارة وظهور طفح جلدي أحمر ورشح وصعوبة في التنفس . وقد تؤدي الإصابة الى الموت ، والفيروس من الفيروسات شبيهة المخاطيصة .
الطاعون البقري	فيروس الطاعون البقري Rinderpest virus Cattle plaque virus	وهي من فيروسات شبه المخاطيصة أيضا . وتسبب خسائر كبيرة في الحيوانات المجترة ويتميز بالتهابات وتقرحات في القناة الهضمية مع اسهال شديد ، والمرض سريع الانتشار وبهائي بين الأبقار والجاموس والماعز والأغنام . وقد تصل نسبة النفوق الى ٩٠ - ١٠٠ ٪ .
مرض الكلب المُسَقَّار	فيروس مرض الكلب Rabies disease virus	وهو من فيروسات الرابيدو Rhabdo العصوية ويعتبر من الأمراض الفتاكة ويهاجم كل أنواع الثدييات كالانسان والحيوان وبعض الطيور ، ولكن الانسان والكلاب هم الأكثر حساسية لهذا الفيروس .
القوباء البسيط في الانسان	هربس سمبلكس Herpes simplex	تقرحات في الأغشية المخاطية والعيون والجلد وبسبب الأطفال بصفة أساسية . وأحيانا ينتقل المرض أثناء الجماع من أشخاص مصابين في الأعضاء التناسلية ، وقد تحدث وفيات نتيجة التهاب المخ .
القوباء الحلقي في الانسان	هربس زoster Herpes zoster	طفح جلدي متبثر يتحول الى ندبات غائرة ، ثم السى قشرة . وقد يحدث أعراض جلدية مؤلمة على الأعصاب والعقد العصبية ، وتحدث العدوى بالاحتكاك المباشر .
الجدري أو الحمق في الانسان	Varicella zoster	يظهر في صورة طفح جلدي يتحول الى بثرات مائية . وهو أيضا من فيروسات القوباء (الهربس) .

تابع : جدول ٢-٤ : بعض الأمراض التي تسببها الأحياء الدقيقة
حقيقية النواة وبدائية النواة والفيروسات للإنسان والحيوان
ومسبباتها واعراضها . . .

المرض	الميكروب المسبب	بيانات خاصة
التهاب الأنف الزغامي البقري المعدى (الأنف الأحمر)	IR Virus Infectious Bovine rhino- trachitis virus	تختلف الأعراض من حمى خفيفة إلى التهاب حاد يشمل كل القناة التنفسية شاملة الجيوب الأنفية والبلعوم والحنجرة والقصة الهوائية والتهاب الأغشية المخاطية المبطن لها والتهاب رئوي واسهال مدم ولا تتجاوز نسبة النفوق ٢٠٪ .
التهاب الأنف الرئوي في الخيول (الاجهاش في الخيول)	فيروس التهاب الأنف الرئوي في الخيول . Equine rhino- trachitis Abortion virus	يصيب الخيول حيث تحدث أعراض تنفسية وارتفاع في درجة الحرارة واجهاش للأفراس الحوامل ، وهو من فيروسات القوبا .
التهاب الحنجرة الزغامي المعدى في الطيور .	Infectious Laryngotrachitis virus	يصيب الطيور المختلفة فتظهر أعراض تنفسية حادة مع نسبة وفيات ونقص النمو ، والفيروس المسبب من فيروسات القوبا .
التهاب المخ الشوكي في الحمام .	فيروس القوبا في الحمام Pigeon herpes Encephalitis virus	أعراض عصبية ونسبة وفيات عالية . وهو من مجموعة فيروسات القوبا .
الجدري في الإنسان	فيروس الجدري Smallpox فيروس الفاكسينا Vaccinia	مرض فيروس حاد يتميز بحدوث طفح عام على سطح الجلد بما في ذلك الوجه والأطراف والبدن نفسه ، وتصل نسبة الموت إلى حوالي ٥٪ .
الجدري في الجمال .	فيروس جدري الجمال Camelpox virus	مرض غير حاد . ويتميز بحدوث طفح جلدي في الجمل وخاصة في المناطق الخالية من الشعر كالرأس .
الجدري في الأبقار	فيروس جدري الأبقار . cowpox virus	ينتقل المرض عن طريق الحلابين أثناء عملية الحليب . ترتفع درجة حرارة الأبقار وتصبح الحلمات حساسة جدا وساخنة ومتورمة وتظهر بثرات حمراء على الحلمات والضرع . وقد تحدث تقدمات خارجية مختلفة ، ويسبب المرض خسائر كبيرة .

تابع : جدول ٢-٤ : بعض الأمراض التي تسببها الأحياء الدقيقة
حقيقية النواة وبدائية النواة والفيروسات للانسان والحيوان
ومسبباتها وأعراضها . . .

المرض	الميكروب المسبب	بيانات خاصة
مرض الأورف . التهاب الجلد المتبثر المياري الفيروس في الأغنام	فيروس مسرّض الأورف Orf virus	من فيروسات شبيهة الجدري وهو يصيب صغار الحملان والجديان القابلة للعدوى عند احتكاكها بقطعان مصابة ، وتبلغ نسبة النفوق ٥ - ٢٥ % . وتتركز الإصابة في المناطق الخالية من الشعر .
جدري الضأن	فيروس جدري الضأن Capripox virus	ينتج عنها ارتفاع في درجة الحرارة وازدياد سرعة التنفس والتهابات حادة في الجلد على شكل انتفاخات وأورام . . وتتكون بثرات ذات حواف ملتهبة (محتقنة) وغالباً ما يسبب نسبة نفوق عالية . الفيروس المسبب من فيروسات الجدري .
جدري الطيور	فيروس جدري الطيور Avipox virus	تحدث الأعراض إما بظهور نتوءات جلدية تشبه العقيدات على العرف والذلايات وزوايا فتحة الفم وحول الميرون والأقدام والساق للدجاج أو تكون مركزة في الأغشية المخاطية للفم وفتحات التنفس والعيون ، وأحياناً يطلق عليه دفتيريا الدجاج .
الشلل الليمفاوي في الدجاج (مرض الميرك)	Marek disease virus	تتحول الخلايا الليمفاوية إلى التكاثر بطريقة سرطانية . وقد تتسلل الخلايا الليمفاوية السرطانية في أنسجة الأعصاب الطرفية وتحدث شلل للجناح والأرجل . أو تتكون أورام ليمفاوية في الكبد والطحال والكلية أو تحدث تغيرات في العيون نتيجة وصول الخلايا السرطانية إليها فيفقد لون القرنية ويحدث العمى ، وهو من الفيروسات التي تكون مادتها الوراثية د ن أ .
سرطان الدم . سرطان اللحم في الدجاج .	فيروس سرطان الدم Sarcoma virus	يحدث كبر في حجم بعض الطيور لتكون ورم في الأحشاء وخاصة في الكبد أو الطحال حيث يوجد عدد كبير من الخلايا الليمفاوية غير الكاملة . أو تضخم وكبر حجم العظام الطويلة للأطراف أو حدوث ضعف عام واحتقان العرف وأنيميا شديدة إلى جانب وجود نسبة كبيرة من كرات الدم الحمراء البدائية أو تكون أورام حميدة أو خبيثة في أماكن مختلفة . والفيروس المسبب من فيروسات محتوية على ر ن أ

تابع : جدول ٢-٤ : بعض الأمراض التي تسببها الأحياء الدقيقة
حقيقية النواة وبدائية النواة والفيروسات للإنسان والحيوان
ومسبباتها وأعراضها . . .

المرض	الميكروب المسبب	بيانات خاصة
السرطان في الإنسان	فيروس إبشتاين - بار Epstein-Barr virus	Burkitt lymphoma يسبب سرطان الخلايا الليمفاوية المعروف في الإنسان والقرود ، وكذلك ثبت أن هذا الفيروس يستطيع تحويل كرات الدم البيضاء إلى خلايا سرطانية . وهو من الفيروسات المحتوية على دن أ .
سرطان كرات الدم البيضاء في الإنسان	عدد من الفيروسات المحتوية على الحمض النووي رن أ	تسبب تحول كرات الدم البيضاء إلى خلايا سرطانية .
نقص المناعة المكتسب (ايدز) في الإنسان .	فيروس لاف LAV (أو فيروس اتش . ٢ - إل - في ٢ HTLV III	وهو من الفيروسات المتراجعة (رترو) ينتشر هذا المرض بين الشواذ جنسيا (من يمارس عمل قوم لوط) وبين مدمني المخدرات التي يتم تعاطيها بالحقن . ويتميز المرض بظاهرتين أساسيتين هي :- (١) ظهور التهابات بأحياء دقيقة انتهازية (أي أنها لا تصيب الا فاقدى المناعة) وأورام سرطانية نادرة ما يدل على ضعف أو فقدان مناعة المريض . (٢) ان المرض يحدث عند أشخاص كانوا يتمتعون بصحة جيدة ولم يسبق لهم تلاقى علاجات كيميائية ولم يكن لديهم أمراض أو أسباب أخرى لضعف المناعة . ويهاجم الفيروس خلايا ليمفاوية خاصة موجودة في الدم والطحال تسمى تي ٤ ليمفوسايت T4 Lymphocytes . وتنقص عليها فيقل عددها في الدم . ونظرا لأن هذه الخلايا هي العقل المدبر للجهاز المناعي فان مناعة الجسم تقل بالتدريج ويصبح الجسم عرضة للاصابة بالعديد من الأحياء الدقيقة .

جدول ٢-٥ : بعض الأمراض التي تسببها الأحياء الدقيقة للنباتات المختلفة .

المرض	الميكروب المسبب	بيانات خاصة
(١)	الأحياء الدقيقة	حقيقية النواة (الفطريات)
الجرب الأسود في البطاطس	سينكيتريوم أندوبوتيكم <u>Synchytrium endobioticum</u>	تظهر على سيقان النباتات المصابة نموات خضراء مصفرة غير منتظمة الشكل بالقرب من سطح التربة ، وعند قلع الثمار فانه يظهر على الدرنات نموات غير محددة الشكل ، وتظهر الدرنات بشكل مشوه ، وقد تتعفن وتصبح داكنة اللون أو سوداء .
الجزر الصولجاني في الكرنب .	بلازموديوфора براسيكي <u>Plasmodiophora brassicae</u>	يصيب معظم نباتات العائلة الصليبية مثل الكرنب والقرنبيط والبروكلي واللفت والفجل وكرنب بروكسل حيث تتكسبون انتفاخات كروية أو مغزلية على الجذور أو على قاعدة الساق للنبات المصاب .
الجرب المسحوق في البطاطس	سبونجوسپورا سبتراني <u>Sponguspora subterranea</u>	يصيب الأنسجة الخارجية من الدرنات ولا يتخلل للداخل بسبب تكوين طبقة من الفلين من أنسجة الثمرة لمسحوق الأنسجة السطحية المصابة عن باقي الثمرة فتتشوه الثمار .
الذبول الطرى للبادرات في البطاطس	أنواع مختلفة تابعة لجنس بيشيم <u>Pythium</u>	تحدث الإصابة للبادرات وهي ما زالت تحت سطح التربة فتتعفن البذور وتموت البادرات . وقد تحدث الإصابة بعد ظهور البادرات فوق سطح التربة فتضمحل السويقة الجنينية عند مستوى سطح التربة وتذبل وتموت .
اللفحة المتأخرة في البطاطس	فيتوفثورا أنفستانس <u>Phytophthora infestans</u>	تظهر الإصابة على قمة وحواف الوريقات بشكل بقع مائية غير محددة ثم تتسع لتعم جميع أجزاء الوريقة . ويظهر على السطح السفلي للوريقات نمو زغبي أبيض عبارة عن الحوامل الأسبورانية للفطر . يلي ذلك جفاف الوريقات وتلونها باللون البني القاتم . وقد تظهر تقرحات بنية اللون على الساق أيضا تسبب جفاف الساق وتشققه طوليا ويصبح هشاً سهل الكسر .

تابع : جدول ٢-٥ : بعض الأمراض التي تسببها الأحياء الدقيقة
للنباتات المختلفة .

المرض	الميكروب المسبب	بيانات خاصة
تصمغ أشجار الموالح .	فيتو فثورا سيتروفثورا <u>Phytophthora citrophthora</u>	يصيب المرض جذوع وجذور الأشجار وكذلك الثمار فتتصلب الجذوع وتتشقق رأسيا بشكل أشربة طويلة مشبعة بافرازات صفية . أما القلف الموجود تحت سطح التربة فإنه يتعفن عادة . وفي الحالات الشديدة من الإصابة يؤدي المرض الى موت الشجرة وتصبح طرية ذات رائحة غير مقبولة .
الصدأ الأبيض في الصليبيات	الهوجوكانديدا <u>Albugo candida</u>	يصيب نباتات العائلة الصليبية كالفجل واللفت وغيرها والعائلة العلاقية Gruciferae والعائلة المركبية Compositae وتظهر الإصابة بشكل بثرات بيضاء ولامعة شمعية على السيقان والأوراق وأحيانا الثمار . وتتشوه الثماريح الزهرية والثمار ويظهر الغزل الفطري في المسافات البينية لخلايا العائل .
البهاض الزغبي Downy mildew في العنصب	بلازمو بارا فيتيكولا <u>Plasmopora viticola</u>	تظهر بقع صفراء غير منتظمة الشكل على السطح العلوى للأوراق يقابلها على السطح السفلى نمو زغبي أبيض أو رمادي اللون عبارة عن الحوامل الأسبورانجية . وقد تمتد الإصابة لتشمل أعناق الأوراق والثمار ثم تتحول الى اللون البني وذلك لموت خلايا النبات . عندئذ تجف الأوراق وتسقط . وقد يموت النبات العائل اذا كان صغيرا أو كانت الإصابة شديدة .
البهاض الزغبي في الخس	بريميا لاكتوكي <u>Brimia lactucae</u>	تظهر بقع صفراء أو باهتة على السطح العلوى للأوراق السفلية القديمة يقابلها على السطح السفلى زغب أبيض أو رمادي . وتتسع البقع وتلتحم ثم تتحول الى اللون البني . وقد تتقرض النباتات وتلف بالكائنات الثانوية .

**تابع : جدول ٢-٥ : بعض الأمراض التي تسببها الأحياء الدقيقة
للنباتات المختلفة .**

المرض	الميكروب المسبب	بیمانات خاصة
البياض الزغبي في الذرة	سكليروسبورا جرامينيكولا <u>Sclerospora</u> <u>graminicola</u>	يظهر على السطح العلوي للأوراق بقع في صورة خطوط عريضة باهتة تحدها العروق المتوازية للأوراق يقابلها على السطح السفلي زغب رمادي اللون ، ويتغير لون الأنسجة المصابة فيصبح محمرا أو بنيا داكنا وتتمزق الورقة على طول الأنسجة المصابة الى شرائط طولية وتحمل النباتات نورات مشوهة عقمية .
البياض الزغبي في البصل	بيرونوسبورا دستركتور <u>Peronospora</u> <u>destructor</u>	تظهر الإصابة على شكل بقع بيضاوية الشكل لونها أفتح من لون الورقة السليمة ، ويظهر نمو زغبي أبيض يتحول الى لون رمادي يميل الى البنفسجي ويهت لون الأنسجة ويحدث الموت في مركز البقعة ثم تدبل الأوراق وتموت . وعند موت الأوراق الخارجية تمتد الإصابة للأوراق الداخلية حتى لا يبقى سوى الأوراق حديثة التكوين ، وينتج عن ذلك تقزم النبات وتصبح أنسجة البصل أسفنجية .
البياض الزغبي في الفول	بيرونوسبورا فيشيا <u>Peronospora</u> <u>Viciae</u>	تظهر بقع بنفسجية أو بنية غير محددة على السطح العلوي للأوراق يقابلها على السطح السفلي نمو زغبي
البياض الزغبي في الصليبيات	بيرونوسبورا بارازيتيكا <u>Peronospora</u> <u>Parasitica</u>	يصيب معظم نباتات العائلة الصليبية مثل الكرنب والقرنبيط واللفت والفجل في المناطق الهاردة الساحلية .
البياض الزغبي في القرعيات	بيرونوسبورا كيوبنسيس <u>Peronospora</u> <u>cubensis</u>	يصيب أوراق نبات البطيخ والحيار وقرع الكوسة وغيرها . ولا تصاب به الثمار .
البياض الزغبي في السبانخ	بيرونوسبورا ايقيوزا <u>Peronospora</u> <u>effusa</u>	أعراض شبيهة بأمراض البياض الزغبي السابقة الذكر .

تابع: جدول ٢-٥: بعض الأمراض التي تسببها الأحياء الدقيقة
للنباتات المختلفة.

المرض	الميكروب المسبب	بيانات خاصة
البياض الزغبى فى المنجر	بهرنمو سبور سكاكتيا <i>P. schachtii</i>	أعراض شبيهة بأمراض البياض الزغبى السابقة الذكر
مرض العفن فى البطاطا	رايزوبس ستولونييفر <i>Rhizopus stolonifer</i>	يظهر أثناء نقل وتخزين الثمار حيث يتكون عفن طرى لزج تنبعث منه رائحة خفيفة . ثم تفقد الثمار قوامها وتصبح طرية مائية كما يظهر نمو قطنى غزير رمادى اللون .
مرض الرشح فى الشليك	“ “	ويظهر المرض عادة أثناء التسويق ، وأحيانا فى الحقل على هيئة عفن طرى مائى ويغير لون الثمار الى البنى الفاتح وينمو الفطر نموا غزيرا حول الثمار المصابة مسببا فيها رشحا للعصير الثمرى .
مرض العفن الجاف فى لوز القطن	“ “	ينشأ المرض عقب الإصابة بديدان اللوز حيث يفرز الفطر اللوز من خلال الثقوب التى تنشأ عن الحشرات . واذا حدثت الإصابة قبل النضج فان اللوز يجف ويصبح أسود اللون ولا يفتح
عفن الثمار فى القرع	كونوفورا كيوكارهيتارم <i>Choaneophora cucurbitorm</i>	تحدث الإصابة أولا فى الأوراق الزهرية ثم تنتشر الى الطرف القمى للثمار الحديثة وتنتج بعد ذلك للطرف القاعدى وتظلم الأنسجة المصابة باللون البنى ثم يتكون نمو زغبى رمادى .
التجمد الورقى فى الخوخ	تافرينا ديفورمانس <i>Taphrina deformans</i>	تظهر مساحات بارزة على السطح العلوى للأوراق سريعا ما تمتد وتتجمد وتشمل معظم أو كل الورقة التى تصبح سميكه أو شحمية وتصبح باهتة أو صفراء اللون ثم تصبح حمراء داكنة فضية فى النهاية . وينتج عنها ضعف للأشجار ، وقد يؤدي الى الموت .

تابع : جدول ٢-٥ : بعض الأمراض التي تسببها الأحياء الدقيقة
للنباتات المختلفة .

المرض	الميكروب المسبب	بيانات خاصة
العفن الرخو في لوز القطن (ترصيع اللوز)	أسبرجيليس نيجر <i>Aspergillus niger</i>	تلين أنسجة اللوز وتتعفن ويكون العسل الناتج منها عديم القيمة التجارية .
عفن ثمار العنب	أسبرجيليس نيجر <i>Aspergillus niger</i>	يتكون نمو أبيض كثيف عليه نقط سوداء صغيرة ، يعقب ذلك رشح الثمار وخروج العصارة منها . ويحدث هذا الفطر خسائر كبيرة أثناء تسويق العنب .
العفن الأزرق في الموالح	بنسليوم إيتاليكام <i>P. italicum</i>	يحدث التلوث عن طريق الجروح التي تحدث في الثمار أثناء القطف والتعبئة ، وتنتشر الإصابة من الثمار المصابة إلى الثمار السليمة أثناء التحزين . وتصيب هذه الفطريات كل ثمار الموالح بلا استثناء فيظهر بقع طرية على قشرة الثمرة تكبر في الحجم ثم يظهر ميسليوم أبيض اللون ثم تتكون بقع زرقاء أو رمادية في وسط الميسليوم .
العفن الأخضر في الموالح	بنسليوم ديجيتاتم <i>P. digitatum</i>	مثل السابق ، ولكن يكون مركز الميسليوم أخضر في النهاية نتيجة لتكوين الجراثيم الكونيدية الخضراء اللون .
العفن الأزرق في ثمار التفاح	بنسليوم اكسبانسم <i>P. expansum</i>	يحدث المرض بكثرة في الثمار المخزونة فتتكون على الثمرة منطقة مائية بيضاء صفراء تمتد لتشمل الثمرة كلها وتليين أنسجتها وتنبعث منها رائحة عفنة مميزة .
عفن كورمات الجلاد يولس	بنسليوم جلاد يولي <i>P. gladioli</i>	تتكون مناطق غير منتظمة على الكورمات المصابة يصل فطرها إلى ٥ سم وتصبح غائره ذات لون بني محمر ويعطى سطح البقعة بعشا جلدي يوجد تحت الأحسام الحجرية للفطر وهي ذات لون أحمر باهت .

تابع : جدول ٢-٥ : بعض الأمراض التي تسببها الأحياء الدقيقة
للنباتات المختلفة .

المرض	الميكروب المسبب	بيانات خاصة
البياض الدقيقى فى القرعيات	اريسيفى ميكوراسيرم <u>Erysiphe</u> <u>cichoracearum</u>	يصيب جميع نباتات العائلة القرعية وتظهر الأعراض على أصناف وأعناق الأوراق بشكل بقع دقيقة سطحية مستديرة لونها أبيض وتظهر البقع أولا على السطح السفلى ثم تنتشر الى السطح العلوى كما تظهر على السيقان والثمار الصغيرة وتنتشر لتغطى النبات كله . ثم تذبل الأوراق وتجف وتموت ولا تعقد الثمار . وقد تؤدى الإصابة الى موت النبات كله .
البياض الدقيقى فى البقوليات	اريسيفى بوليجونى <u>Erysiphe</u> <u>polygoni</u>	يصيب معظم النباتات البقولية كما يصيب أيضا نباتات الكرونب والقرنبيط واللفت والشمس . وتظهر البقع على السطوح العليا للأوراق أولا ثم تنتشر حتى تغطى النباتات كله .
البياض الدقيقى فى النجيليات	أريسيفى جرامينس <u>Erysiphe</u> <u>graminis</u>	يصيب عددا من أفراد العائلة النجيلية كالقمح والشعير وغيرها وتظهر البقع الدقيقة على سطح الأوراق بيضا تمتد ثم تصبح بنية اللون فتصبح الأوراق باهتة أو صفراء . . ويظهر حالة حمراء عند مواضع الإصابة وتنتهى الإصابة بتقزم النبات وموت الأوراق وصغر السنابل .
البياض الدقيقى فى العنب	أنسينولا نيكاتور <u>Uncinula</u> <u>necator</u>	تظهر الإصابة على جميع سطح النبات فوق سطح التربة بشكل بقع دقيقة بيضا لا تلتصق أن تتسع لتشمل سطح النبات كله فتتجدد الأوراق وتجف وتتساقط وتصبح الأغصان باهتة ومتقرمة .
البياض الدقيقى فى السورد	سفيروثيكا بانوزاروزى <u>Sphaerotheca</u> <u>panosa var. rosae</u>	يصيب جميع أجزاء المجموع الخضرى للنبات فيظهر نمو دقيقى أبيض يتسع ليعم كل سطح النبات وتأخذ الأوراق اللون الأرجوانى ثم تجف وتسقط ويتغير لون البتلات ، وتكون عديمة القيمة التسويقية .

تابع : جدول ٢-٥ : بعض الأمراض التي تسببها الأحياء الدقيقة للنباتات المختلفة .

المرض	الميكروب المسبب	بيانات خاصة
البياض الدقيقى فى الخوخ	سفيروتىكا بانوزا بوسيكى <u>S. panosa var. persicae</u>	تتكون بقع دقيقة تتسع لتشمل النبات كله ، ويتقدم الإصابة تصبح الأوراق داكنة اللون والثمار جلد بهمة المظهر وتتشقق الثمار وتصبح غير صالحة للاستهلاك .
البياض الدقيقى فى المشمس	بودوسفيرا أوكسيكانثى ترايداكثيلا <u>Podosphaera var. tridacyla</u>	تظهر بقع دقيقة على الأوراق تنتشر لتشمل معظم الورقة وتصبح الأوراق رمادية فاتحة ثم تلتوى وتجف وتسقط بعد ذلك ويقل المحصول بدرجة كبيرة .
البياض الدقيقى فى التفاح	<u>P. leucotricha</u>	تتكون البقع البيضاء على السطح السفلى للأوراق ثم تنتشر الى السطح العلوى ثم تتجمع الأوراق ويصبح لونها أرجوانى فاتح ، وأخيرا تذبل وتسقط . تتكون ثمار صغيرة تشقق وتصبح مشوهة ذات سطح خشن .
البياض الدقيقى فى المانجوس	أويديم مانجفري <u>Oidium mangiferae</u>	تظهر الأعراض على شكل بقع دقيقة تنتشر على الأوراق الحديثة والأغصان الطرفية والثمارية والثمار ويتحول لون البقع الى الرمادى ثم الى اللون البنفسجى بعد ذلك وتصبح الثمار مشوهة وعديمة القيمة الاقتصادية .
البياض الدقيقى فى الخرشوف	ليفيلولا تورىكا <u>Leveillula taurica</u>	يصيب العديد من النباتات مثل الخرشوف والفلفل والباذنجان والطماطم والبطاطس والبصل والتفاح والجوت وأبوخنجر وغيرها ، ويصيب جميع الأجزاء الخضريّة للنبات ويسبب ضعف النبات وقلة الانتاج .

تابع : جدول ٢-٥ : بعض الأمراض التي تسببها الأحياء الدقيقة
للنباتات المختلفة .

المرض	الميكروب المسبب	بيانات خاصة
جرب الكمثرى	فنتوريا بيرينا <u>Venturia pirina</u>	تتكون بقع على سطحى الورقة ذات لون أخضر زيتوني قاتم تتحد بـ على السطح العلوي وتندمج على السطح السفلي للورقة ثم تصبح البقع فلمنية ذو لون بني ، وقد تتساقط الأوراق وتصاب المحيطات الزهرية فتتشوه الثمار وتقل وتتعرض للاصابة الثانوية بالعفن .
جرب التفاح	فنتوريا اينكواليس <u>Venturia inaequalis</u>	مثل مرض الكمثرى
مرض الأرجوت	كلافيسيس بوربوريا <u>Claviceps purpurea</u>	لا يسبب خسائر كبيرة في محصول الشيلم Rye ولكنه ينتج أجسام حجرية سامة ، وعند اختلاطها بالحبوب التي تستعمل كغذاء للإنسان ، فإن الإنسان يصاب بأضرار صحية كبيرة وتحدث حالات تسمم وموت ، وهذا المرض يصيب نباتات نجيلية أخرى كالقمح والشعير وغيرها .
مرض سكليروتا تينيديا في الخضر	سكليروتينيديا سكليروتينورم <u>Sclerotinia sclerotiorum</u>	يحدث ذبول طوي للشتلات أو النباتات عند اصابتها على حد سواء . كما يهاجم الفطر الثمار ويسبب عفا طريا فيها . وهذا المرض يصيب العديد من الخضروات كالكرنب والقرنبيط والكرف والخس والقرع والبطيخ والباذنجان والبطاطس ، والطماطم والخرشوف والبسلة والهامية وغيرها ، ويسبب خسائر كبيرة في محاصيل الخضر .
صدأ الفول	يورومييسز فابي <u>Uromyces fabae</u>	تظهر الاصابة بظهور بثرات بنية على سطحى الأوراق تمتد الى السيقان ، وقد تؤدي شدة الاصابة الى تساقط الأوراق وتقزم النباتات ونقص في المحصول .

تابع : جدول ٢-٥ : بعض الأمراض التي تسببها الأحياء الدقيقة
للنباتات المختلفة :

المرض	الميكروب المسبب	بهايات خاصة
صدأ الساق الأسود في القمح	باكسينيا جراميتيس تريتيساي <i>Puccinia graminis tritici</i>	تظهر البثرات على الأوراق وأغصانها والسيقان وقنايع الأزهار ، والبثرات بنية محمرة . وفي آخر الموسم تكون البثرات سوداء اللون ويقل المحصول .
الصدأ الأصفر (الصدأ المخطط) في القمح	باكسينيا ستراييفورمز <i>Puccinia striiformis</i>	تتكون بثرات صفراء على أنصال وأغصان الأوراق مرتبة في صفوف متوازية ومتجاورة وتتحول إلى اللون البني قرب نهاية الموسم ، ويكون ملمسها ناعما ومغطاة ببشرة العائل فيسهل تمييزها عن صدأ الساق الأسود الخشن الملمس .
الصدأ البرتقالي في القمح	باكسينيا ريكونديتا تريتيساي <i>P. recondita tritici</i>	تتكون بثرات دائرية أو بيضاوية بارتفاعية اللون تنتشر دون انتظام على أنصال وأغصان الأوراق المصابة بتحول لونها إلى بني داكن مائل للسواد قرب نهاية الموسم وتكون ذات ملمس ناعم .
الصدأ البني في الشعير	باكسينيا هورداي <i>P. hordei</i>	تتكون بثرات بنية مصغرة صغيرة دون نظام على سطحي الورقة ثم تظهر البثرات السوداء في نهاية الموسم على شكل قشور دائرية على أنصال الأوراق وبيضاوية أو مستطيلة على أغصان الأوراق والسيقان .
صدأ الذرة الشامية	باكسينيا سورجاي <i>P. sorghi</i>	تتكون بثرات بنية اللون على سطحي الأوراق تتحول إلى الاسمرار في نهاية الموسم وتصفّر الأوراق وجفاف جزئ من الأوراق يؤدي إلى تجعدها وعدم انتظام شكلها .
صدأ البهل والثوم	باكسينيا بوري <i>P. purri</i>	تتكون بثرات صفراء اللون على الأوراق وحواميل النورات وتؤدي الإصابة الشديدة إلى اصفرار الأوراق وجفافها في دور مبكر مما يؤدي إلى تكوين أهبال صغيرة وينتج عن ذلك نقص كبير في المحصول .

تابع : جدول ٢-٥ : بعض الأمراض التي تسببها الأحياء الدقيقة
للنباتات المختلفة .

المرض	الميكروب المسبب	بيانات خاصة
صدأ الحلويات	ترانزشيليا ديسكولور <i>Tranzschelia discolor</i>	تتبقع الأوراق بهقع صفراء أو بنية مسحوقية المعشر وتؤدي شدة الإصابة إلى تساقط الأوراق ونقص المحصول .
صدأ السور	فراجميد ماكروناتم <i>Phragmidium mucronatum</i>	تظهر البثرات الصفراء الصغيرة على الأسطح السفلية للأوراق . ثم يتغير لونها تدريجياً إلى الأحمر . وعند انفجار البثرات فإنها تأخذ شكلاً مسحوقياً يتحول إلى الأسود .
التفحم السائب في القمح والشعير	يوستيلاجيو نودا <i>Ustilago nuda</i>	تظهر النباتات المصابة أقل طولاً وتميل أوراقها إلى الاصفرار وتكون السنابل خالية من الحبوب والأجزاء الزهريّة الأخرى . . ولا يبقى من السنبل إلا المحاور الوسطى لها ويغطيه مسحوق أسود ، وقد تظهر بعض البثرات في خطوط طولية على الأوراق الملامسة للسنابل المصابة .
التفحم المغطى في الشعير والشوفان .	يوستيلاجيو مورداي <i>Ustilago hordii</i>	عند ظهور السنابل وانطلاقها من أغصانها تظهر السنابل المصابة ضامرة وقصيرة وضعيفة التكوين وتتميز بلونها الرمادي القاتم الذي يميل للسواد . ولا يتلف الطفيل كل السنابل أو حتى جميع أجزاء السنبل الواحدة .
التفحم المعادي في الذرة الشامية	يوستيلاجيو مايدي <i>Ustilago maydis</i>	تتكون أورام تفحمية غير منتظمة ومختلفة الأشكال والأحجام على الأجزاء المختلفة من النبات المصاب ، ويكثر ظهورها على البراعم الإبطية والكيزان والنورات المذكورة ، وتغطي الأورام في المبدأ بغلاف جلدي أبيض لامع من أنسجة النبات العائل ثم ينمزق ويتضح الأورام فينتشر الفطر على هيئة حراثيم مسحوقية لونها بني داكنة .

تابع : جدول ٢-٥ : بعض الأمراض التي تسببها الأحياء الدقيقة
للنباتات المختلفة .

المرض	الميكروب المسبب	ببائيات خاصة
التفحم اللواتي في القمح	بيوروستي أجروبيري <u>Urocystis</u> <u>agropyri</u>	تظهر بثرات تفحمية على الأوراق وأغمارها ، وأحيانا على السيقان . وينتج عن الإصابة التفاف أنصال الأوراق والتوائها وذبولها . وتؤدي الإصابة الى تقزم وضعف النبات ، ولا تتكون السنابل ، وإذا تكونت تكون خالية من الحبوب .
تفحم البصل	بيوروستي كابولا <u>Urocystis</u> <u>capulae</u>	تظهر بثرات صغيرة طويلة منتفخة قليلا رمادية السلي سوداء على الأوراق الفلجية والخضرية . عند انفجار البثرات تظهر كتلة سوداء رمادية ، وقد يمتد المرض للداخل فتتوت البادرات المصابة ، أما النباتات التي تقاوم المرض فتكون أصالا صغيرة في الحجم تظهر عليها بثرات التفحم .
خناق القطس	بيلليكيولا ريسا فيلامنتوزا <u>Pellicularia</u> <u>filamentosa</u>	إذا أصيبت به البذور قبل انباتها فانها تموت قبل ظهورها فوق سطح التربة ، وإذا تأخرت الإصابة الى ما بعد ظهور البادرات يهاجمها الفطر عند منطفئة السويقة الجنينية السفلى عند مستوى سطح التربة وتظهر ندب يميل لونها للاحمرار . ويسبب هذا المرض خسائر كبيرة في محصول القطس .
عفن قواعد الأشجار	جانودرما لوسيدم <u>Ganoderma</u> <u>locidum</u>	تصاب به الأشجار الحشبية والكتن الخشبية الناتجة منها وينتج تلف كبير في الأخشاب . والفطر يهاجم الأشجار بالقرب من سطح التربة . وتؤدي الإصابة في الموالح نقصا كبيرا في محصول الأشجار وتتحول الأوراق الى اللون الباهت . . أو الأصفر ، وقد تؤدي الإصابة الى موت الأشجار .
عفن الجذور الارميللاري	أرميللاريا ميلليا <u>Armillaria</u> <u>mellea</u>	وفيهما يكمن الفطر داخل التربة ويهاجم كثير من الأشجار الحشبية وأشجار الفاكهة مسببا عفن الجذور وضعفا عاما في الأشجار . كما يصيب الفطر بعض النباتات الحولية كالبطاطس والشليت وغيرها .

تابع : جدول ٢-٥ : بعض الأمراض التي تسببها الأحياء الدقيقة
للنباتات المختلفة .

المرض	الميكروب المسبب	بيانات خاصة
العفن الدبيلودي أو عفن جساوة الأسود في البطاطا	ديبلوديا تيموريكولا <i>Diplodia tubericola</i>	تظهر بثرات على الحذور المصابة ويتغير لون الأنسجة الداخلية فتصبح بنية داكنة تتحول للأسود ثم تجف الأنسجة المصابة وتصبح مجعدة ، ويسبب الممرض خسائر كبيرة في محصول البطاطا قبل الجني وأثناء التخزين .
العفن الدبيلودي في الموز	ديبلوديا ميوزي <i>Diplodia musae</i>	وهو يسبب خسائر كبيرة في الموز أثناء الانضاج الصناعي وكذا أثناء التسويق فيحدث عفن طرى للثمار مصحوباً برائحة غير مرغوبة .
الانثراكنوز في الموز	كلوبيوسبوريوم ميوزارم <i>Gloeosporium musarum</i>	تحدث العدوى - غالباً - في الحقل أثناء نمو الثمار على الأشجار ولا تظهر أعراض ظاهرة واضحة إلا بعد قطف الثمار وانضاجها حيث تظهر تبقعات سوداء في منطقة عنق الثمرة ، تمتد بعد ذلك خلال قاعدة الثمرة وفي كف الثمار ويسبب ذلك سهولة نزع الثمار من السباطة وتساقطها . وفي المراحل الأخيرة من المرض تظهر الجراثيم الكونيدية للفطر المسبب للمرض وهي ذات لون برتقالي يميل للأحمرار .
التبقع البني في الموز	بوترايتس فابي <i>Botrytis fabae</i>	تظهر بقع بنية محمرة مستديرة أو غير منتظمة على الأوراق وأعناقها والسيقان والقرون . وقد تصل الإصابة إلى البذور وقد تتساقط الأوراق ويقل المحصول وقد تتحول البذور إلى اللون الأسود .
عفن الرقبة في البصل	بوترايتس ألي <i>Botrytis alii</i> وبوترايتس سبتو - سبورا <i>B. Septospora</i>	وهذا المرض يصيب البصل بعد التقطيع وأثناء الشحن والتخزين ، كما يصيب أيضاً الثوم والكرات وغيرها . فتصبح الأبصال لينة ثم تتلون الأنسجة بلون يميل إلى البني ويظهر بعد ذلك النمو الفطري الرمادي على الثمار .

تابع : جدول ٢-٥ : بعض الأمراض التي تسببها الأحياء الدقيقة
للنباتات المختلفة .

المرض	الميكروب المسبب	بهايات خاصة
اللفحة في الأرز	بيريكولا ريزا أوريون <u>Piricularia</u> <u>oryzae</u>	تظهر أعراض المرض على الأوراق والسيقان والمحور الأصلي للسناهل فتظهر بقع ذات لون شاحب أو أصفر باهت أو رمادي ويتحول اللون بعد ذلك إلى البني الداكن ويسبب ضمور الحبوب وقلة الإنتاج .
الذبول المتأخر أو شلل الذرة الشامية .	سيفالورس هوريم مايدز <u>Cephalosporium</u> <u>maydis</u>	تخطيط أصفر في المسافات بين العروق والتفاف الأوراق الداخلية ثم ذبول الأوراق ، وكذلك تخطيط على السلاميات وانكماشها ثم تحلل داخلية وتصبح الحزم الوعائية ذات لون بني محمر ، وقد تؤدي الإصابة إلى عدم تكون الكيزان أو عدم تكون الحبوب
التبقع البني في أوراق القطن	الترناريا تنويس <u>Alternaria</u> <u>tanais</u>	تكون بقع باهتة مستديرة أو غير منتظمة باهتة اللون تتسع ويهتك لون مركز البقع ، فيصبح أصفر أو بني ، ويهدو وسط البقع جافاً رقيقاً . وقد تصاب أعناق الأوراق أو اللوز فلا يفتح أو يظهر النمو القشري الأسود على شعر القطن .
اللفحة المبكرة في البطاطس والبطاطس	الترناريا سولاني <u>Alternaria</u> <u>solanii</u>	يصيب بادرات البطاطس وينتج عنه تقرح أو تحليق المنطقة المصابة مما يؤدي إلى موت البادرات ، وتظهر أعراض الإصابة أولاً بشكل بقع بنية داكنة تتحول للون الأسود بعد أن تكبر وتظهر حلقات متداخلة محاطة بهالة صفراء ، وأخيراً تصفر الأوراق وتجف وتموت وتسقط مما يؤدي إلى تعرض البطاطس إلى لسعة الشمس وقلة المحصول . أما درنات البطاطس فتصاب بمفج جاف على هيئة بقع مستديرة داكنة ذات لون بني محمر ، وقد تتشقق مناطق الإصابة فتحدث عدوى ثانوية .

تابع : جدول ٢-٥ : بعض الأمراض التي تسببها الأحياء الدقيقة
للنباتات المختلفة .

المرض	الميكروب المسبب	بيانات خاصة
اللفحة الأرجوانية ومرض اللسعة في البصل	الثرناريا بوري <u>Alternaria</u> <u>Porri</u>	تظهر بقع صغيرة على الأوراق وشمراخ النورة وأعناق البصيلات وتتسع ويظهر حولها هالة صفراء . ثم يظهر على البقع نمو فطري ويصبح لونها أسود . وتظهر أمراض اللسعة على البصل أثناء التسويق والتخزين حيث تجف البصيلات عند قواعد الأوراق الشحمية .
التخطيط في الشعير	هلمينثوسپوريم - جرانيم <u>Helminthosporium</u> <u>graminum</u>	يصيب المرض جميع أجزاء النبات حيث تظهر خطوط طويلة صفراء بطول الورقة ثم يتحول لون الخطوط من الأصفر إلى البني وتكون خطوط المرض مغطاة بنمو رمادي أسود اللون فتضمحل الأوراق ويموت النبات .
تبقع الأوراق السركسپوري في البنجر	سركسپورا بتيكولا <u>Cercospora</u> <u>baticola</u>	تظهر الإصابة كبقع صغيرة مستديرة بنية اللون ذات حواف محددة تميل إلى اللون البنفسجي المحمر ثم تتحول البقع إلى اللون الرمادي وتؤدي الإصابة إلى موت الأوراق وسقوطها ، وينتج عن ذلك صغر حجم الجذور الشحمية وانخفاض نسبة السكر فيها .
تبقع أوراق القول السوداني	سركسپورا پرسوناتا <u>Cercospora</u> <u>Perspata</u>	بقع بنية داكنة أو سوداء اللون على الأوراق والسيقان والقرون . وقد تؤدي شدة الإصابة إلى تساقط الأوراق وضعف النبات وقلة المحصول .
ذبول الفيوزاريوم في القطن	فيوزاريوم أوكسيسپوريم <u>Fusarium</u> <u>oxysporum</u>	ذبول وعائي في القطن وظهور اصفرار شبكي أو برقشة شبكة على الأوراق الفلقية في البادرات . وتظهر النباتات المصابة ضعيفة النمو أقصر في الطول من النباتات السليمة ويكون لوزها أصفر حجما ويتفتح قبل تمام النضج ويسبب خسائر فادحة في محصول القطن .

تابع: جدول ٢-٥: بعض الأمراض التي تسببها الأحياء الدقيقة
للنباتات المختلفة.

المرض	الميكروب المسبب	بيانات خاصة
د بول الفيوزاريوم في الطماطم	فيوزاريوم أوكسيسبورم <u>Fusarium</u> <u>Oxysporum</u> <u>F. lycopersici</u>	يظهر شحوب في لون الأوراق ثم يتغير اللون إلى الأصفر ثم تذبل الأوراق وتنحني وتجف وتموت . وتؤدي شسدة الاصابة الى ضعف النباتات وتقرمها ، وقد تموت مبكرا قبل نضج الثمار .
العفن الأبيض في البصل	سكليروشييم سيففورم <u>Sclerotium</u> <u>cepivorum</u>	تصفّر الأوراق وتذبل من أعلى إلى أسفل ثم تموت مبتدئة بالأوراق الخارجية . وتتعمق قواعد الأهدال وجذور النباتات المصابة . ويؤدي المرض الى خسائر فادحة في المحصول .
العفن الفحمي في البذرة الشامية	سكليروشييم باتاتيكولا <u>Sclerotium</u> <u>butaticola</u>	يظهر عفن فحمي في أنسجة العفد واللاميات القرمزية من سطح التربة وأسفلها . ثم يمتد العفن إلى أعلى وأ أسفل . ويسبب موت البادرات وكثيرا ما تكون الاصابة مصحوبة باصابات أخرى فيسبب خسائر كبيرة في المحصول الناجم .

تابع : جدول ١-٥ : بعض الأمراض التي تسببها الأحياء الدقيقة
للنباتات المختلفة .

المرض	الميكروب المسبب	بيانات خاصة
(٢)	الأمراض الناتجة	عن الأحياء الدقيقة الخلوية حقيقية النواة (الطحالب والآشنات)
ريم الأريز	سبيرو جيرا <u>Spirogyra</u>	يظهر ريم أخضر أو بني أو أزرق على سطح الماء يزاحم النباتات ويهوق نموها . وقد تحدث أضرار فسيولوجية نتيجة قلة الأكسجين الذائب في الماء والضروري لتنفس جذور النبات فتضعف النباتات ويقل المحصول .
الآشنات على أشجار الموالح والحلويات وغيرها من أشجار الفاكهة	فطريات وطحالب مختلفة	تتكافل الفطريات والطحالب فيما يعرف باسم الأشن ، والذي ينمو على الأشجار فيسد الثغور والعديسات ويحجب ضوء الشمس والهواء عن بشرة النبات . وقد تزيد كمية الآشن على أفرع الأشجار بما يؤدي الى كسر بعض الفروع .
(٣)	الأمراض الناتجة	عن الأحياء الدقيقة الخلوية بدائية النواة (البكتيريا)
العفن البني في البطاطس	سودوموناس سولا ناسيرم <u>Pseudomonas solanacearum</u>	يصيب المرض البطاطس في المناطق الحارة ونصف الحارة ، ويسمى أحيانا بالذبول البكتيري أو المرض المخاطي ، وفيه تذبل الأوراق مع اصفرار طفيف في اللون ثم يظهر على الأوراق مناطق ذات لون بني تمتد لتشمل الورقة كلها ثم تسقط بعد ذلك . والدرنات تحتوي على افرازات بكتيرية لزجة بيضاء أو بيضاء صفراء ، وفي بعض الحالات تخرج هذه الافرازات من العيون على الدرنات المصابة .
تقرح الموالح .	زانثوموناس ستراي <u>Xanthomonas citri</u>	تظهر بقع بنية جافة محاطة بحواف بنية لامعة على أوراق وسوق وشمار الموالح .

تابع: جدول ٢-٥: بعض الأمراض التي تسببها الأحياء الدقيقة
للنباتات المختلفة.

المرض	الميكروب المسبب	بيانات خاصة
التبقع الزاوي في القطن	زانثوموناس - مالفا سيرم . <u>Xanthomonas</u> <u>malvacearum</u>	شديد الخطورة على القطن في المناطق الرطبة . فتصاب البادرات بتبقعات مستديرة ذات مظهر زيتي على الأوراق الفلجية وفي حالة شدة الإصابة تتساقط الأوراق وتموت البادرات . وهذا المرض يصيب النبات في جميع مراحل نموه وينتج عنها اصفرار القطن ويضعف إنتاجه .
الساق الأسود في البطاطس	أروينيا أتروسيكتيكا <u>Erwinia</u> <u>atroseptica</u>	يوجد هذا المرض في جميع الأماكن التي يزرع بها البطاطس وتؤدي الإصابة إلى تقزم النباتات ، وتصفير الأوراق وتلف إلى أعلى ، ويظهر على أنحضر مسود على الساق وتذبل النباتات وتتعفن الدرنات .
اللفحة النارية في التفاح والكمثرى .	أروينيا أميلو ثورا <u>Erwinia</u> <u>amylovora</u>	تصيب هذه البكتيريا عددا من النباتات وتسبب خسائر كبيرة لأشجار التفاح والكمثرى وغيرها . ويؤدي المرض إلى قتل القلب والأوراق حديثة التكوين ، وقد تظهر الأعراض على الجذوع والفروع والجذور على صورة تقرحات حول قاعدة الفروع المصابة ، وعادة تنتج افرازات لزجة وتتحول الأنسجة تحتها إلى اللون الأحمر مع ظهور تهرقش ثم يتحول لونها إلى البني فالأسود .
العفن الحلقى في البطاطس	كورنيبكتيريوم سبيد و نيكم <u>Corynebacterium</u> <u>sepedonicum</u>	وهو مرض خطير يسبب خسارة كاملة لمحصول الدرنات المریضة . وتظهر الأعراض قرب نهاية موسم النمو في صورة التفاف في الأوراق ثم تعود لمظهرها الطبيعي ثم يتبع ذلك ذبول سريع . والدرنات المصابة إذا صعدت باليد يخرج منها افرازات بيضاء لزجة .

تابع: جدول ٢-٥: بعض الأمراض التي تسببها الأحياء الدقيقة
للنباتات المختلفة .

المرض	الميكروب المسبب	بيانات خاصة
التدرن التاجي في العنكب والتفاح وغيرها	أجروباكتيريوم تيوميفيشينس <u>Agrobacterium</u> <u>tumefaciens</u>	يظهر على جذور النباتات أوراما مختلفة الحجم في منطقة التاج . وتتوقف صلاحية الأورام على النبات العائل . فالأورام طرية على النباتات الحولية وصلبة على الأشجار الخشبية ، والمرض ليس خطيرا على الأشجار الكبيرة ولكنه يسبب أضرارا واضحة على الشتلات .
أمراض بكتيرية أخرى	باسيلس ميزنتريكس <u>Bacillus</u> <u>mesentericus</u>	تصيب أنواع عديدة من النباتات مثل درنات البطاطس ونباتات القرع العسلي وأوراق وثمار الخيار والفلفل .
	باسيلس ستيلس <u>Bacillus</u> <u>subtilis</u>	تصيب درنات البطاطس وثمار الكتان وتعمل على تعفنها وتلون أوراق وثمار المشمش باللون البني .
الجرب العادي في البطاطس	ستربتومايسيز سكابيز <u>Streptomyces</u> <u>scabies</u>	تظهر على الدرنات بثرات خشنة منفرة مستديرة أو غير منتظمة وتتكون أنسجة فليمية في الأماكن المصابة وفي الاصابات المتقدمة تتشق الثمار وتصبح عرضة للاصابة الثانوية بالحشرات .
(٤) الأمراض الناتجة عن الأحياء الدقيقة الغير خلوية (الفيروسات)		
التبرقش المجعد على نباتات البطاطس	فيروسات البطاطس اكس - واي - ام <u>Potato viruses</u> <u>X, Y, A</u>	يقع خضراء أو صفراء أو تبرقش على الأوراق ، وقد يحدث تنخر أو تخطيط على الأوراق وتجعد ها وتتكون نباتات متقرمة وأوراق ذات سطح حش ويضعف الساق وتعطي النباتات المصابة محصولا ضئيلا وتكون الدرنات صغيرة الحجم وتنقل العدوى عن طريق التقاوى المصابة والحشرات .
التفاف أوراق البطاطس	فيروس التفاف أوراق البطاطس <u>Potato Leaf</u> <u>Roll Virus</u>	تلتف الأوراق الى أعلى مع تلون الوريقات باللون القرمزي . وتصبح الأوراق الملتفة سميكة وجافة وسهلة الكسر نظرا لامتلاشها بالنشا . وتتقرم النباتات وتقصر السلاميات ويصبح لون الأوراق بني والنباتات المصابة تنتج درنات صغيرة قليلة العدد كما يحدث تنخر في درنات بعض الأنصاف .

تابع : جدول ٢-٥ : بعض الأمراض التي تسببها الأحياء الدقيقة
للنباتات المختلفة .

المرض	الميكروب المسبب	بيانات خاصة
تهرقش الطماطم	فيروس تبرقش الطماطم Tomato mosaic virus (TMV)	يصيب الفيروس عدد كبير من النباتات في عوائل نباتية عديدة أهمها نباتات العائلة الباذنجانية كالطماطم والفلفل وغيرها ، وتكون الإصابة شديدة بصفة خاصة في البهوت المحمية فتتبرقش الأوراق وتتقرم النباتات وتظهر بقع خضراء باهتة أو صفراء ويقل المحصول الناتج وينتقل الفيروس بالطرق الميكانيكية عن طريق العمال والشتلات وكذلك عن طريق البذور المصابة .
الذبول المبقع في الطماطم	فيروس الذبول المبقع في الطماطم Tomato spotted Wilt virus (TSMV)	يصيب الفيروس عدد كبير من العوائل النباتية ، اذ وجد على ١٦٦ نوعا من النباتات تتبع ٣٤ عائلة نباتية مختلفة وهو يصيب عوائل نباتية اقتصادية مثل الحس والطماطم والبطاطس والدخان والأناس وكثير من نباتات الزينة . ويحدث تبقع أصفر وتتقرم النباتات المصابة وفي الطماطم ينتشر لون برونزي على الأوراق يسمى الذبول البرونزي Bronzy wilt . أما أزهار الزينة فتتشوه كما فر أزهار الداليا والزينيا وينتقل الفيروس بالحشرات . . أو بالنقل الميكانيكي أو بالبذور المصابة .
تجعّد الأوراق الأصفر في الطماطم	فيروس تجعّد الأوراق الأصفر في الطماطم Tomato Yellow Leaf Curl Virus (TYLCV)	يصيب الفيروس عدد قليل من نباتات العائلة الباذنجانية كالطماطم والفلفل والدخان وغيرها . فتتبع الأوراق ويكون حجمها صغيرا وتكون الوريقات حشنة وسميكة ، ويتجعّد النصل وتكون النباتات متعزّمة ويتكون عدد قليل من الأزهار ويكون حجم الثمار صغير وعددها قليل .
تهرقش الكوسة تهرقش الخيار تهرقش البطيخ	فيروس تهرقش الكوسة Squash Mosaic Virus (SMV) فيروس تهرقش الخيار Cucumber Mosaic Virus (CMV) فيروس تهرقش البطيخ Watermelon Mosaic Virus (WMV)	تصيب فيروسات التهرقش نباتات عديدة كالكوسة والخيار والبطيخ والفاصوليا واللوبيا والحس وغيرها . وتسبب خسائر فادحة في محاصيل الخضر . وتختلف الأعراض من ظهور بقع خضراء باهتة إلى صفراء . وقد يحدث تخطيط وتقرم للنباتات وتتكون أزهار قليلة وتنتج ثمار صغيرة وعددها قليل مما يؤدي انخفاض

تابع: جدول ٢-٥: بعض الأمراض التي تسببها الأحياء الدقيقة
للنباتات المختلفة.

المرض	الميكروب المسبب	بيانات خاصة
تهرقش الفاصوليا تهرقش اللوبيا تهرقش الخس	فيروس تهرقش الفاصوليا العادي Bean Common Mosaic Viruses (BCMV) فيروس تهرقش اللوبيا Cowpea Mosaic virus (CMV) فيروس تهرقش الخس Lettuce Mosaic Virus (LMV)	المحصول . وتنتقل هذه الفيروسات عن طريق الحشرات أو النقل الميكانيكي أو البذور المصابة وغيرها .
التواء أوراق القطن	فيروس التواء أوراق القطن Cotton Leaf Curl Virus (CLCV)	تتضخم العروق الوسطية للأوراق وتكون الأوراق صغيرة الحجم ، تتجمع كلما كبرت وتتلوى حوافها إلى أعلى أو إلى أسفل وتتميز الأجزاء المصابة من النبات بالضعف وقلة اللوز وصغر حجمه ووزنه وقلة المحصول الناتج . وينتقل المرض بالطرق الميكانيكية والحشرات .
أمراض القمح الفيروسية	فيروسات القمح والحبوب الأخرى	تصيب القمح فيروسات عديدة كالتهرقش ، والتهرقش المخطط والتهرقش المتقزم والتخطيط وغيرها من الأمراض ، وهذه الأمراض تسبب خسائر كبيرة في محصول القمح ومحاصيل أخرى هامة كالشعير والذرة والأرز وغيرها وتتشابه أحيانا في أعراضها وتنتقل بالطرق المختلفة كالطرق الميكانيكية والحبوب والتربة وغيرها .
تهرقش قصب السكر	فيروس تهرقش قصب السكر Sugar Cane Mosaic Virus (SCMV)	تظهر بقع فاتحة اللون أو شاحبة على أوراق النباتات المصابة قد يؤدي إلى موت الأنسجة فتظهر مناطق مقرحة . وتنتج عقل صغيرة بها أجزاء داخلية ملونة وينتقل المرض بالطرق الميكانيكية والحشرات والتقاوى .

تابع : جدول ٢-٥ : بعض الأمراض التي تسببها الأحياء الدقيقة
للنباتات المختلفة .

المرض	الميكروب المسبب	بيانات خاصة
التخطيط الشاحب بقصب السكر	فيروس التخطيط الشاحب بقصب السكر Sugar Cane Chlorotic Streak virus (SCCSV)	تظهر خطوط صفراء باهتة على الأوراق وتتكون أجسام اكس في داخل أنسجة خلايا الساق المصابة . وينتقل المرض بواسطة الحشرات وبالنقل الميكانيكي وعن طريق العقل .
تبرقش الهرسيم الحجازي	فيروس تبرقش الهرسيم الحجازي Alfalfa Mosaic Virus (AIMV)	يصيب الفيروس العديد من النباتات التابعة لنحو ٤٧ عائلة نباتية مختلفة ويسبب أعراض مختلفة على هذه العوائل ولكن أهمها هو التبرقش . وقد تؤدي شدة الاصابة الى موت النبات ، وينتشر المرض عن طريق البذور المصابة والحشرات والنقل الميكانيكي والحامل .
القوباء فسى الموالح	فيروس قوباء الموالح Citrus psorosis virus (CPsV)	ويسمى أيضا مرض القلف المتقشر وينتشر هذا المرض فى معظم البلاد التي تزرع الموالح ، والفيروس المسبب له عدة سلالات تسبب أعراضا مختلفة وأهمها تكون بثرات على جذوع الأشجار تكون مصحوبة بافرازات صفية تخرج من ثقوب صغيرة فى القلف .
التدهور السريع فى الموالح (التريستيزا)	فيروس التدهور السريع فسى الموالح Citrus Quick Decline Virus (CQDV)	يتوقف نمو شجرة البرتقال المطعومة على نارج ويتحول لون أوراقها الى أخضر رمادى وتأخذ عروقها اللون الأصفر ثم تتساقط أوراقها وتأخذ الشجرة شكلا كهيئيا ثم تموت الشجرة خلال عدة أسابيع ، وتصل الشجرة الى هذه الحالة فى مدة ٢ - ٥ سنة من وقت حدوث العدوى . وكل الموالح المطعومة على نارج تصاب بهذا المرض .

تابع: جدول ٢-٥: بعض الأمراض التي تسببها الأحياء الدقيقة
للنباتات المختلفة.

المرض	الميكروب المسبب	بيانات خاصة
الورقة المروحية في العنب	فيروس الورقة المروحية في العنب Grape Vine Fan Leaf Virus (GVFLV)	تتوقف السلالمات المصابة عن الاستطالة ويظهر النمو متعرجا عند العقد . أما الأوراق فتبقى قائمة وتكون عروفا الرئيسية متجمعة حول العرق الوسطى مكونة ما يشبه المروحة الورقية ، والنباتات المصابة لا يتكون عليها ثمار أو تتكون ثمار قليلة خالية من البذور وينتقل المرض بواسطة النقل الميكانيكي والنيما تودا والبذور المصابة .
تبرقش التفاح	فيروس تبرقش التفاح Apple Mosaic Virus (APMV)	يصيب الفيروس التفاح والبرقوق والورد وحشيشة الدينار وعيرها ، حيث يسبب التبرقش أو تكون خطوط صفراء وحلقات . وأصرار هذا المرض عادة بسيطة ، وإن وجدت سلالات فيروسية شديدة الفتك بالعائل .
تورد القمة في الموز	فيروس تورد القمة في الموز Banana Bunchy Top Virus (BBTV)	تظهر الأعراض على شكل بقع أو نقط حضراء قائمة على العروق الوسطية أو الأوراق . تتصل هذه النقط لتكون خطوطا فيما بعد . والأوراق حديثة التكوين تكون صفراء اللون لا تلبث أن تجف ويسهل كسرها ، وعند شدة المرض تتجمع الأوراق عند القمة ويصبح شكلها كالوردة والنباتات المصابة لا تثمر عادة أو تعطى ثمار صغيرة ضامرة عديمة القيمة وينتقل بواسطة الحشرات .

الفصل الثالث

طرق دراسة الأحياء الدقيقة

نظرا لصغر حجم الكائنات الدقيقة فإن المعلومات التي يمكن الحصول عليها من دراسة كل كائن حي (Individual) تعتبر محدودة ، لذلك فإن علماء الأحياء الدقيقة يميلون لدراسة مجتمعات Populations تحتوى على ملايين أو بلايين الأفراد من الأحياء الدقيقة . ويمكن الحصول على تلك المجتمعات بتسمية الأحياء الدقيقة تحت ظروف محددة الى حد ما تسمى المزارع Cultures (ومفردها مزرعة Culture) والمزرعة التي تحتوى على نوع واحد من الأحياء الدقيقة تسمى مزرعة نقية Pure or axenic culture . أما المزرعة التي تحتوى على أكثر من نوع واحد من الأحياء الدقيقة فتسمى مزرعة مختلطة Mixed culture . أما اذا احتوت المزرعة على نوعين حفظا عن قصد سويا نظرا لتعاونهما معا أو لاعتماد أحدهما فى معيشته على الثانى فتعرف باسم المزرعة المزدوجة أو مزرعة الفرديين Two membered culture .

ولاشك أن أساس دراسة الأحياء الدقيقة يقع على عمليتين أساسيتين وهما :

١- العزل Isolation

وهو فصل كائن حي دقيق بعينه من وسط مجتمع مختلط من أحياء دقيقة مختلفة موجودة فى الطبيعة .

٢- التزريع Cultivation

وهو تنمية المجتمعات الميكروبية تحت ظروف المختبرات فى أوساط (مستنباتات) صناعية Artificial media تسمى culture media وسنطلق عليها هنا اسم مستنبات مزرعية (ومفردها مستنبت مزرعى

Culture medium (وان كانت كثير من المراجع العربية استخدمت مجازا كلمة بيئة للتعبير عن المستنبت Medium ولكننا هنا سنقصر استخدام كلمة بيئة على ما هو معروف في اللغة الانجليزية باسم Environment معنا للالتباس الذي قد يقع فيه الطالب المبتدىء .

هاتان العمليتان (العزل والتزريع) تلعبان دورا هاما فى دراسة جميع الأحياء الدقيقة بغض النظر عن نوعيتها مثل الفيروسات - البكتيريا - الطحالب - الفطريات - البروتوزوا وأيضا لدراسة الملافقاريات الصغيرة . وأكثر من ذلك فقد امتد استخدام هاتان العمليتان (العزل والتزريع) فى السنوات الحديثة لدراسة الخلايا والأنسجة فى الحيوانات والنباتات الراقية (عرفت هذه الدراسة باسم مزارع الأنسجة Tissue Cultures). وترجع وحدة علم الأحياء الدقيقة Microbiology رغم اختلاف الكائنات التى يشمل دراستها هذا العلم الى وحدة الأساس العام لدراسة هذه الأحياء .

طرق الحصول على مزارع الأحياء الدقيقة النقية

ان الحصول على المزارع النقية للأحياء الدقيقة لا يشمل العزل فقط لكائن ما ، بل أيضا ضرورة الاحتفاظ بهذا الكائن وذريته Progeny معزولا دون تلوث Contamination على مستنبت وحيث أن الأحياء الدقيقة لا تتطلب مكانا كبيرا لنموها فانه يمكن حفظ المستنبتات فى أنبوبة اختبار أو ورق أو طبق بترى Petri dish . وهذه هى أكثر الأشياء شيوعا لتزريع الأحياء الدقيقة . ويجب تعقيم أى وعاء قبل استخدامه لتزريع أحياء دقيقة . وكلمة تعقيم تعنى ازالة أو قتل جميع الأحياء الدقيقة الملوثة . وبعد تزريع الأحياء الدقيقة المرغوبة فمن الضرورى حمايتها من التلوث بأى أحياء خارجية أخرى . والمصدر الأول لتلوث أى مزرعة هو الهواء المحيط الذى يحتوى على العدس من الأحياء الدقيقة .

ولقد صمم طبق بترى ذو الغطاء الذى يحيط بالطبق من جميع جوانبه — بصفة خاصة للحماية من التلوث بالأحياء الموجودة فى الهواء الجوى ، أما تلوث المزارع فى الأنايب والدوارق فيتم تجنبه باستخدام سدادات خاصة مثل سدادات القطن الشائعة الاستعمال ، ولأنه حالياً تستخدم أغشية بلاستيكية أو معدنية وخاصة لأنايب الاختبار .

السطح الخارجى للوعاء المحتوى على المزارع النقية يكون معرض للتلوث بالطبع . وكذلك يمكن تلوث داخل الوعاء عند إزالة الغطاء — لاضافة أو سحب بعض مكوناته . ويمكن تقليل الخطر الناجم عن فتح الأنبوبة أو الدوارق بامرار فتحة — بعد فتحه مباشرة — فى اللهب ، ثم إعادة امرار هذه الفتحة فى اللهب ثانية قبل إعادة الغطاء الى مكانه . أما أطباق بترى فيجب فتحها بحذر بالقرب من لهب .

تستخدم ابر حقن خاصة اما مستقيمة Straight أو ذات عقدة Loop من سلك معدنى — وهى سهلة التعقيم بالتسخين الى الاحمرار فى اللهب المباشر — لنقل مزارع الأحياء الدقيقة . وتسمى الأحياء الدقيقة المستخدمة لحقن أو تلقيح مستنبت جديد لتكوين مزرعة جديدة باسم " لمسة تلقيح Inoculum " . ويمكن تقليل خطر التلوث أثناء النقل باجراء عمليات النقل هذه داخل غرف صغيرة مغلقة خالية من التيارات الهوائية أو باستخدام خزانات Hood أمان خاصة .

أولاً : عزل المزارع النقية باستخدام المستنبتات الصلبة على الأطباق

يمكن الحصول على مزارع نقية للأحياء الدقيقة التى تكون مستعمرات Colonies على المستنبتات الصلبة (مثل معظم البكتيريا والخمائر والعديد من الفطريات والطحالب) باستخدام احدى طرق العزل على الأطباق . وتشمل هذه الطرق فصل الخلايا الفردية عن بعضها — والسماح لها بالنمو على سطح مستنبت صلب معقم يحتوى على العناصر الغذائية اللازمة لنمو هذه الخلايا الفردية . وكل خلية تنمو تعطى

العديد من الخلايا كلها في مكان واحد تسمى مستعمرة Colony . ويمكن استخدام هذه المستعمرات المعزولة (المنفصلة) عن باقسي المستعمرات لتلقيح مستنبت جديد . ويجرى تلقيح المستنبت عادة باستخدام مواد خاصة مثل الآجار أو الجيلاتين .

١- الأطباق المخطوطة Streaked Plates

تعتبر طريقة الأطباق المخطوطة (أو تخطيط الأطباق) أكثر الطرق نجاحاً في عزل الكائنات الدقيقة . حيث يسمح لبرة التلقيح الملتوية Loop المعقمة بلمس مزرعة نقية أو بغمسها في معلق للأحياء الدقيقة . ثم عمل خطوط باحدى الطرق الآتية :

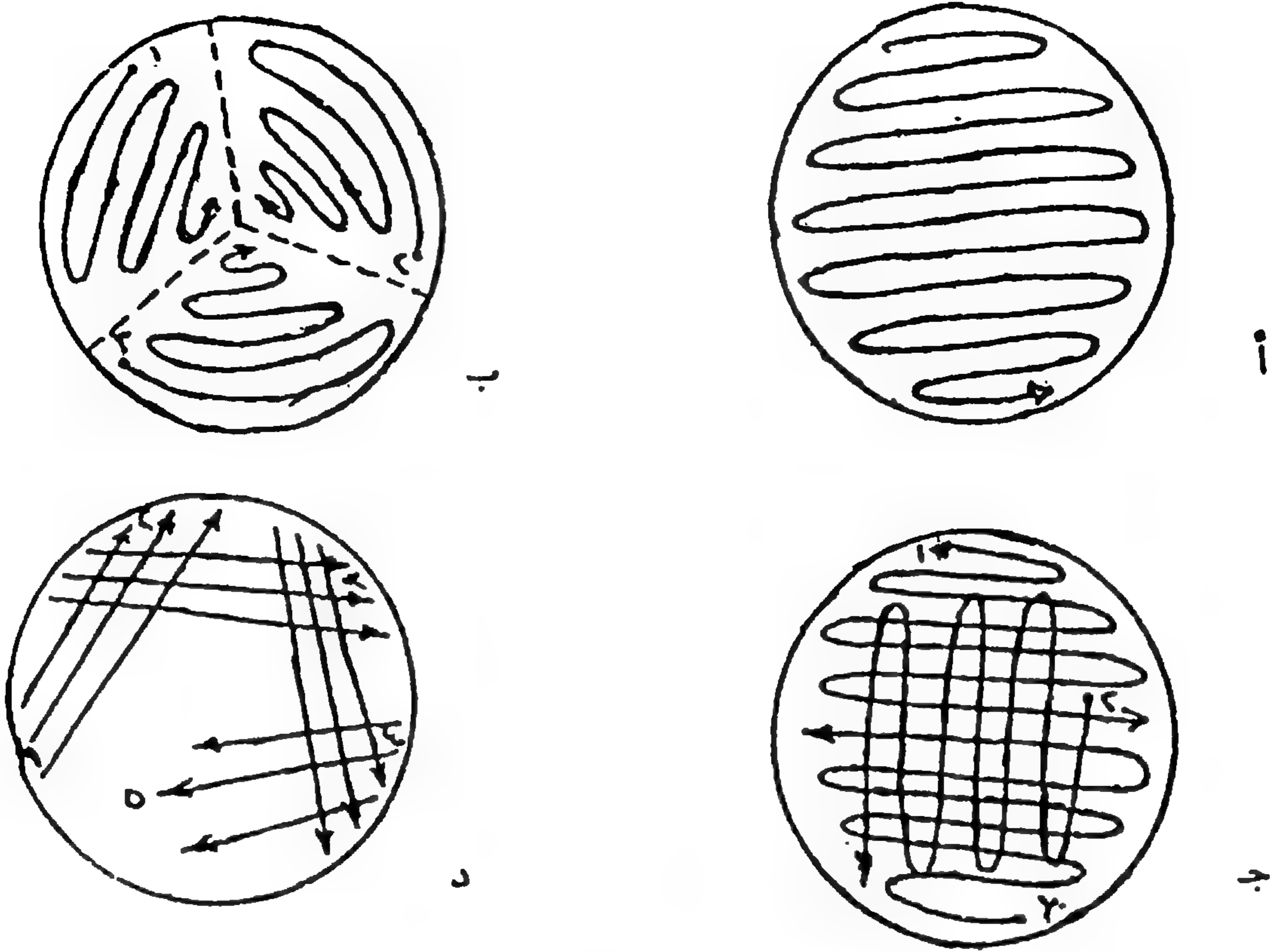
أ- بعمل خط متصل مبتدئاً من أحد جهات الطبق حتى الوصول الى النهاية الأخرى مع عمل الانحناءات اللازمة لعمل خطوط متوازية شكل (٣-أ) . وتظهر المستعمرات المنفردة في نهاية الخط عادة .

ب- بعمل ثلاثة خطوط متماثلة في ثلاث أقسام من الطبق الذى سبق تقسيمه بقلم من قاعه - وفى كل قسم يعمل خط متصل غير متقاطع وبانحناءات لعمل خطوط متوازية كما فى الشكل (٣-ب) وتظهر المستعمرات المنفردة على آخر خط يجرى عمله .

ج- بعمل خطوط متوازية كما سبق فى (أ) ثم تعقيم الابريرة ثانية ثم تعمل خطوط متعامدة على الثانية وتظهر المستعمرات المنفردة على طول الخطوط الأخيرة .

د- بعمل خطوط متعامدة فى ثلاث أو أربع اتجاهات مع تعقيم الابريرة بعد عمل الخطوط فى كل اتجاه . وتظهر المستعمرات المنفردة عادة على آخر الخطوط التى تم عملها (٣-د) .

بعد عمل الخطوط تحض الأطباق مقلوبة حتى تظهر النموات المختلفة وينقل من المستعمرات المنفصلة الى أطباق جديدة بـففسس



شكل ٣-١ : طرق تخطيط الآجار لعزل الأحياء الدقيقة وتنقيتها

أ - عمل خط متصل مبتدئاً من أحد جهات الطبق حتى الوصول إلى النهاية الأخرى مع عمل الانحناءات اللازمة لعمل الخطوط متوازية وتظهر المستعمرات المفردة في نهاية الخط عادة .

ب - عمل ثلاثة خطوط متماثلة في ثلاثة أقسام من الطبق الذي سبق تقسيمه بقلم من قاعه ، وفي كل قسم يعمل خط متصل غير متقطع وانحناءات لعمل خطوط متوازية وتظهر المستعمرات المفردة على آخر خط يجسرى عمله .

ج - بعمل خطوط متوازية كما سبق في (أ) ثم تعقيم الابرة ثم عمل خطوط متوازية في الاتجاه المتعامد .

د - بعمل خطوط متوازية في أحد جهات الطبق ثم تعقيم الابرة ثم عمل خطوط متعامدة عليها . ثم تعقيم الابرة مرة ثانية وعمل خطوط متعامدة على الأخيرة وهكذا وتظهر المستعمرات المفردة على الخطوط الأخيرة .

الطريقة للتأكد من نقاوة المستعمرات .

٢- الأطباق المصبوبة *Poured Plates*

يمكن الحصول على مستعمرات معزولة بعمل سلسلة تخفيفات لأى عينه يرغب فى عزل الأحياء الدقيقة منها . توضع كميات صغيرة من كل تخفيف فى أطباق بترى معقمة ويصب عليها مستنبت منصهر مبرد السى درجة لا تكفى لتجمده . ثم يجرى مزج المستنبت مع التخفيفات المختلفة فى الأطباق قبل أن يتم التجمد . ثم تحضن الأطباق حتى تتكثرون المستعمرات ، فينقل من المستعمرات المنفصلة لمسة تلقيح *Inoculum* الى مستنبت جديد وتكرر العملية للتأكد من نقاء المستعمرات ، ويستحسن قبل التكرار اجراء الفحص المجهرى للمستعمرات البكتيرية وعمل غشاء منها وصبغه - على الأقل - بطريقة صبغ واحدة مثل صبغة جرام (ستذكر فيما بعد) . ويجب التأكد بعد تكرار التزريع *Cultivation* أن كل المستعمرات الناتجة متشابهة ومتطابقة مع المستعمرة الأصلية ولا يمكن الاعتماد على مستعمرة منفصلة أخذت من أول طبق كمزرعة نقية .

وقد تستخدم طريقة الأطباق المصبوبة لعزل الأحياء الدقيقة (القابلة للنمو فى الظروف الهوائية) بوضع حجم محدد (١ مليلتر) من سلسلة من التخفيفات المختلفة (كل منها يساوى ١ الذى قبله) فى أطباق ثم صب مستنبتات آجار المغذية كما سبق ذكره . ثم عـدد الأطباق التى تحتوى على عدد من المستعمرات يتراوح بين ٣٠ ، ٣٠٠ مستعمرة وضرب متوسط العدد فى مقلوب التخفيف لينتج العدد فى ١ مل من العينة الأصلية . وإذا كانت العينة صلبة فيؤخذ ١ جم من العينة الأصلية وتجرب عليه التخفيفات المذكورة مع اجراء العمل كما سبق للحصول على العدد فى ١ جم من العينة وفى جميع الحالات يجب مراعاة ظروف التعقيم فى جميع الخطوات .

طريقتا الأطباق المخطوطة والمصبوبة المذكورتين يمكن استخدامها لعزل الكائنات الهوائية (التى تنمو فى الظروف الهوائية) . أما

استخدام طريقة الأطباق لعزل البكتيريا اللاهوائية اجباريا . . فانه يشكل وضعا خاصا . فاذا كانت البكتيريا اللاهوائية اجباريا من النوع الذى لا يموت بمجرد تعرضه للأكسجين الجوى فيمكن اتباع نفس الطرق السابقة ثم تحضينها فى أوعية خاصة ثم ازالة الأكسجين منها إما بالحرق أو بالامتصاص بمواد كيميائية . وبالنسبة للبكتيريا اللاهوائية ذات الحساسية للأكسجين فانه يستخدم لها طرق خاصة أخرى كما أن الكائنات التى تنمو فى أعماق المحيطات تتطلب ظروف خاصة لتنقيتها ، ولو أن معظم الأحياء الدقيقة التى عزلت من قاع المحيطات هى تلك التى تتحمل الضغوط العالية دون أن تموت عند تنقيتها على الضغط الجوى العادي . الا أن عدم وجود الطرق التى تحمى البكتيريا التى تتطلب ضغطا عاليا لنموها غير متوفرة حاليا ، لذلك لم يمكن حتى الآن عزل بكتيريا تتطلب الضغط العالى لنموها كمتطلب أساسى .

ثانياً : العزل باستخدام المستنبتات (البيئات الصناعية) السائلة

ان طريقة العزل بالأطباق تعتبر ناجحة لعزل معظم البكتيريا والفطريات نظرا لقدرة تلك الكائنات على النمو على المستنبتات الصلبة ، ولكن بعض البكتيريا ذات الخلايا الكبيرة لم يمكن حتى الآن تزريعها بنجاح على المستنبتات الصلبة . كما أن عددا كبيرا من البروتوزوا والطحالب لا يمكن تنميتها الا على مستنبتات سائلة فقط . ورغم أن الفيروسات قد بدأ تنميتها على المستنبتات الصلبة مع عوائلها حديثا ، الا أن عددا كبيرا من هذه الفيروسات تعزل بسهولة من خلال ترشيح السوائل فى المرشحات البكتيرية . وفى حالة الفيروسات بصفة خاصة لا يمكن بالطبع الحصول على مزارع نقية لأن هذه الكائنات لا تعيش الا متطفلة تطفلا اجباريا على خلايا حية . لذلك فان مزارع الفيروسات لا بد وأن تكون من نوع المزارع المزدوجة أو مزارع الفردين - Two membered culture حيث تحتوى على الفيروس وعائله . كما أنه كثيرا ما تستخدم المستنبتات

السائلة Liquid media لعزل البكتيريا والخمائر من التربة وذلك للتغلب على نمو الفطريات الشائعة الانتشار في التربة والتي كثيرا ما تغطى سطح المستنبتات الصلبة مسببة مشاكل كثيرة في عزل الأحياء الأخرى على المستنبتات الصلبة . أما في المستنبتات السائلة فان الفطريات تنمو مكونة ميسيليوم في صور كروية يمكن التخلص منها بالترشيح عادة خلال ورق ترشيح عادي ثم عزل الأحياء الأخرى بعد ذلك على مستنبتات صلبة .

ان أبسط طريقة للعزل في المستنبتات السائلة Liquid media هي تلك المعروفة باسم طريقة التخفيف . حيث تجرى سلسلة تخفيفات للعينة الأصلية بواسطة مستنبت سائل معقم وفي عدد كبير من الأنابيب تحقق كميات محدودة من كل تخفيف . والهدف من هذه العملية هو تلقيح سلسلة من الأنابيب بحجم محدد من معلق بكتيري مخفف لدرجة أن احتمال وصول حتى خلية بكتيرية واحدة لكل أنبوبة يصبح صغيرا جدا (احتمال قدره ٠.٥ ر) فعندما يحقق عدد كبير من الأنابيب بتلقيح Inoculum في هذا الحجم ، فانه من المتوقع طبقا لنظرية الاحتمال Probability theory أن تكون ٠.٩٥ ر (٩٥ %) من الأنابيب خالية من أى خلايا بكتيرية و ٠.٠٤٨ ر (٤.٨ %) من الأنابيب يصلها خلية بكتيرية واحدة و ٠.٠٠١٢ ر (١.٢ %) من الأنابيب يصلها خليتان بكتيريتان و ٠.٠٠٠٠٢ ر (٠.٠٢ %) من الأنابيب يصلها ثلاث خلايا بكتيرية . والاحتمال الأكبر لأن يكون ظهور أى نمو بكتيري فى أى أنبوبة من عشرة أنابيب ملقحة . . وكنتيجة لذلك فان الاحتمال الأكبر أن يكون هذا النمو قد نتج عن خلية بكتيرية واحدة . ويكون هذا الاحتمال مساويا :

$$= \frac{٠.٠٤٨}{٠.٠٤٨ + ٠.٠٠١٢ + ٠.٠٠٠٠٢} = ٠.٩٧٥ \text{ ر أو } ٩٧.٥\%$$

ويتضاءل احتمال أن يكون النمو ناتجا عن خلية واحدة كلما زادت كمية التلقيح Inoculation الأصلى (عندما يزيد عدد الأنابيب

التي يظهر فيها نمو بعد التحضين) ٠٠٠ لذلك فمن الضروري اجراء العزل من التخفيف الذي يظهر عدد قليلا من الأنايب التي يظهر فيها النمو (أو التخفيف الذي لا يظهر نمو في معظم أنابيبه) . أنظر العدد الأكثر احتمالا في الفصل الحادي عشر .

وعيب هذه الطريقة ينحصر بصفة أساسية في أن العزل يتم فقط للبكتيريا السائدة ، ولا يمكن بهذه الطريقة عزل البكتيريا الموجدودة بأعداد صغيرة مع أعداد كبيرة من بكتيريا أخرى في المجتمعات المختلطة Mixed populations كما أن هذه الطريقة غير فعالة لعزل البروتوزوا والطحالب من مصادر طبيعية ٠٠٠ حيث أن معظم المصادر الطبيعية تكون أعداد البكتيريا فيها تفوق كثيرا أعداد البروتوزوا والطحالب .

ثالثاً : عزل خلايا منفردة بالطرق المجهرية

Microscopically controlled Isolation

عندما يتعذر العزل بالأطباق أو بالتخفيف كما ذكر ، فإنه يمكن استخدام طريقة عزل خلايا منفردة بطرق خاصة ثم تزرعها . وترجع صعوبة هذه الطريقة الى صغر حجم الكائنات الدقيقة . فالكائنات الدقيقة ذات الخلايا الكبيرة مثل البروتوزوا والطحالب سهلة العزل بهذه الطريقة ، ولكن عزل البكتيريا بهذه الطريقة أصعب من عزل ذوات النواة الحقيقية .

ففي الخلايا الكبيرة يمكن عزلها بسهولة بواسطة أنبوبة شعيرية مع الاستعانة بتكبير بسيط مثل ذلك المتحصل عليه بمجهر التشريح Dissecting Microscope ذو قوة تكبير في حدود ١٠٠ مرة . أما في حالة الرغبة في عزل كائنات دقيقة أصغر فلا بد من استعمال طرق خاصة كتلك التي تستعمل فيها جهاز العزل الدقيق Micromanipulator لعزل خلايا بكتيرية صغيرة باستعمال قوة تكبير بين ٥٠٠ الى ١٠٠٠ مرة .

رابعاً : مزارع المزدوجين Two membered culture

أن الهدف الأساسي للعزل هو الحصول على مزرعة نقية . ولكن في حالات خاصة يستحيل الحصول على مزارع نقية كما في حالة الفيروسات ، وهي كائنات متطفلة اجبارية لا يمكنها أن تتكاثر بمفردها ولا بد من وجود المائل حتى تتكاثر . ولذلك فإن أفضل الاختيارات المتاحة هو تكوين مزارع الفردين . وليست مزارع الفردين قاصرة على الفيروسات فقط فسان كثيرا من البروتوزوا تتغذى على البكتيريا ، ولا بد في هذه الحالة أيضا من تكوين مزرعة فردين بحيث تنمو البكتيريا على مستنبت (بيئة صناعية) وتنمو البروتوزوا على البكتيريا .

ولا بد من ايجاد اتزان بين نمو الكائن الفريسة والكائن المفترس ، فلا يجب أن يكون الكائن الفريسة أسرع في النمو من الكائن المفترس بحيث لا يسوده أو ينتج في البيئة مواد تؤدي الى تثبيط نموه أو قتله كما لا يجب أن يكون نمو الكائن الفريسة بطيئا بدرجة تؤدي الى تجويع الكائن المفترس .

التعقيم بين النظرية والتطبيق

The Theory and Practice of Sterilization

التعقيم هو عملية تؤدي الى قتل أو ازالة جميع الكائنات الحية الدقيقة . ويمكن تحقيق التعقيم لمادة ما بالمعاملات الطبيعية أو الكيميائية القاتلة للأحياء أو بالترشيح في حالة السوائل .

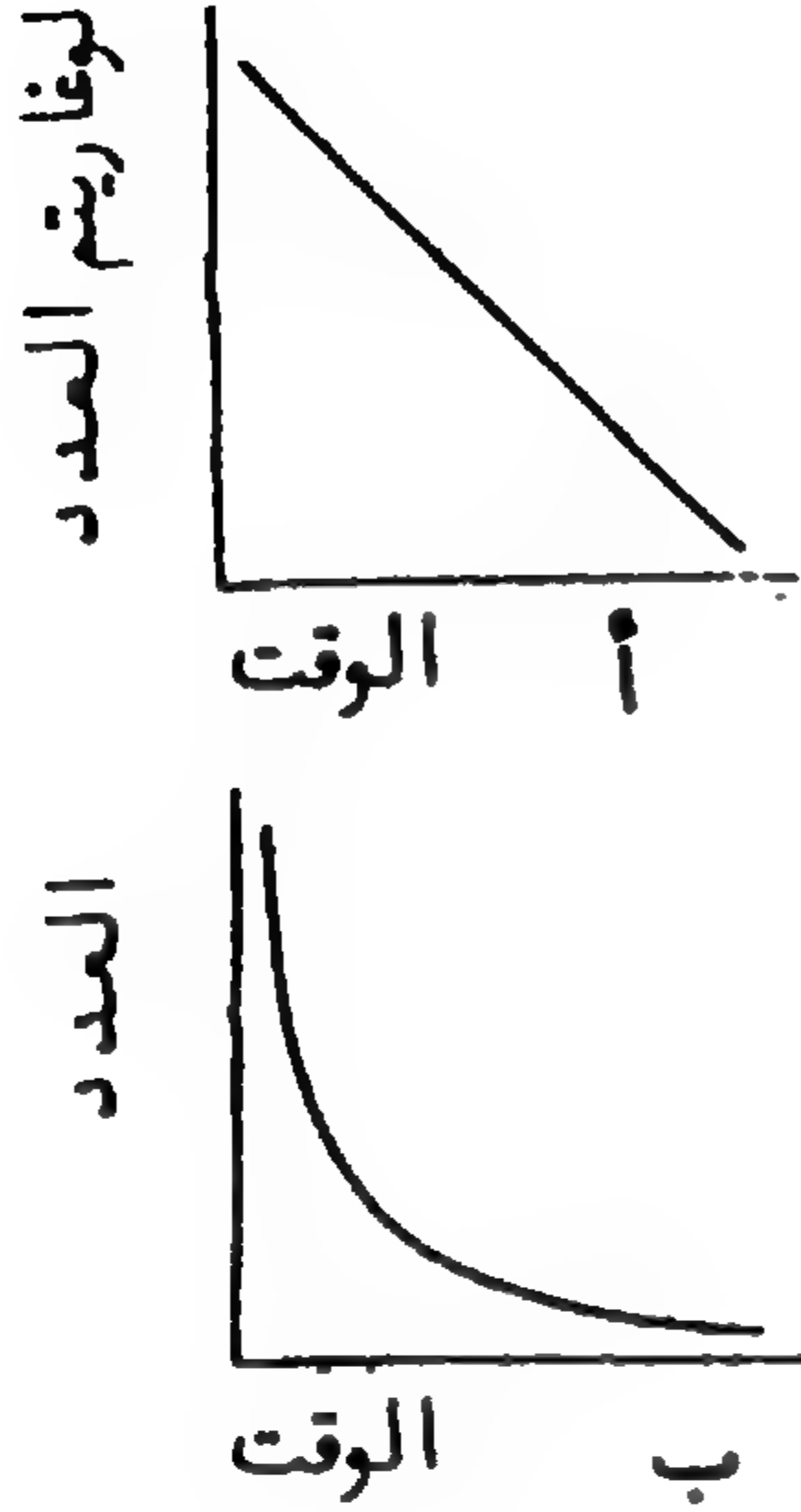
ولفهم أساس التعقيم بالمعاملات القاتلة فمن الضروري توضيح كينيتيكية (حركية) الموت Kinetics of death لمجتمع من الأحياء الدقيقة . يمكن التعبير عن الموت في الأحياء الدقيقة بالفقد غير الرجعي للقدرة على التكاثر ، ويمكن الاعتماد على هذه الصفة بواسطة عد الأحياء الدقيقة بطريقة الأطباق المصبوبة بعد المعاملات القاتلة فنجد أن الأحياء فقط يستطيعون تكوين مستعمرات .

عند تعريض مجتمع نقي من الأحياء الدقيقة (وليكن نوع معين من البكتيريا) لمعاملة قاتلة مثل المعاملة بالحرارة العالية مثلا ، فإن كينيتيكية الموت Kinetics of death تكون دائما لوغاريتمية Exponential بمعنى أن عدد الأحياء يتناقص بطريقة لوغاريتمية مع مرور الوقت . وهذا يعكس أن كل أفراد المجتمع ذو حساسية متماثلة وأن الاحتمالات فقط هي التي تحدد الوقت الفعلي لموت أى خلية فردية ، فإذا رسمت العلاقة بين لوغاريتم عدد الأحياء ووقت تعريض مجتمع معين من الأحياء الدقيقة لمعاملة قاتلة فإننا نحصل على خط مستقيم ذو ميل سالب كما فى الشكل (٢-٣) ويمثل ميل المنحنى Slope معدل الموت Death rate .

ويمكن استخدام معدل الموت والعدد الابتدائي لحساب النسبة المتبقية من الأحياء الدقيقة بعد معاملة الأحياء الدقيقة بمعاملة قاتلة لمدة زمنية معينة . ونظرا لأن معظم المجتمعات الموجودة فى الطبيعة تكون مجتمعات مختلطة Mixed populations فإنه عادة ما يعتمد على أكثر الكائنات الحية الدقيقة مقاومة للحرارة والتي غالباً ما تكون جراثيم (أبواغ) داخلية للبكتيريا . ولذلك فإنه عند الرغبة فى تقييم طريقة للتعقيم (بالحرارة مثلا) تستخدم معلقات مائية من الجراثيم (الأبواغ) المقاومة للحرارة المرتفعة .

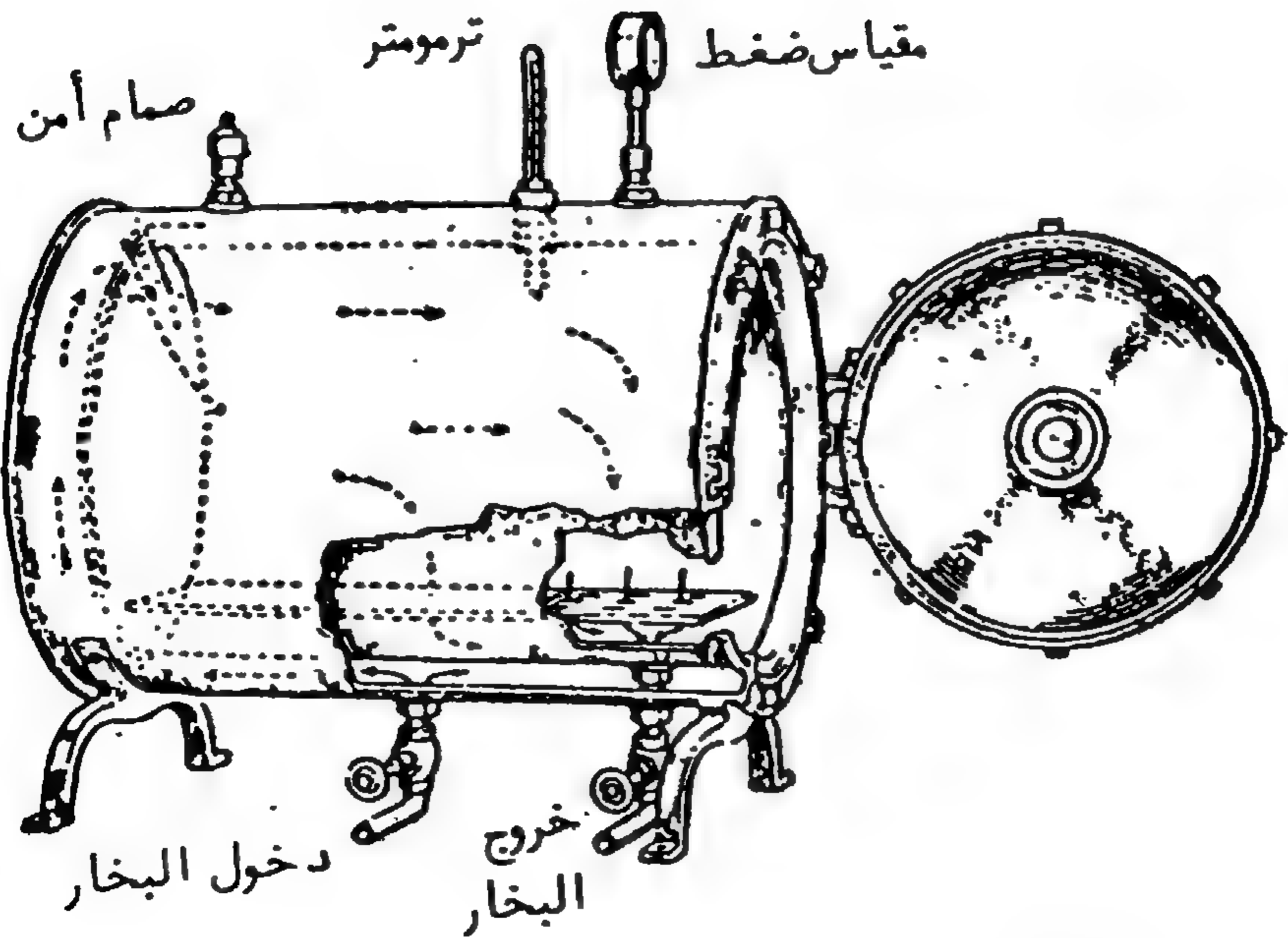
وعند الرغبة فى التعقيم بأى معاملة قاتلة آخذين فى الاعتبار كينيتيكية موت الأحياء الدقيقة — فإننا نهدف أن يكون احتمال وجود ولو حتى خلية حية واحدة فى المادة المعقمة صغير جدا جدا . . .

فمثلا اذا رغبت فى تعقيم لتر واحد من مستنبت (بيئة صناعية) سائل . فإننا يمكننا الوصول الى هذا الهدف بطريقة عملية عند ما تؤدي المعاملة الى أن يكون عدد الأحياء الدقيقة المتبقية لا تزيد عن خلية حية واحدة فى ١٠ لتر . وعندئذ يكون احتمال وجود أى أحياء دقيقة فى تلك الكمية ضئيلة جدا بحيث لا يكون لذلك أى أهمية . ومعظم طرق التعقيم فى الصناعة تأخذ فى الاعتبار درجة كبيرة من الأمان .



شكل ٣-٢ : العلاقة الكنتيكية لموت البكتيريا
عند معاملتها بمعاملة حرارية مبيتة • حيث
تكون العلاقة لوغاريتمية •

- أ- العلاقة موضحة على ورق شبه لوغاريتمى •
ب- العلاقة مبينة على ورق رسم بياني عادى •



شكل ٣-٣ : معقم (أوتوكلاف) يعمل بالبخار المضغوط

ويمكن اجمال طرق التعقيم فيما يلى :-

أولاً : الطرق الطبيعية للتعقيم Physical methods of sterilization

(١) التعقيم بالحرارة : Sterilization by heat

الحرارة هي أكثر المعاملات القاتلة المستخدمة لغرض التعقيم .
يمكن تعقيم الأجسام إما بالحرارة الجافة dry heat في أفران تحت
الضغط الجوى العادى أو بالحرارة الرطبة Moist heat التى يتم الحصول
عليها بالبخار الرطب wet steam

أ - التعقيم بالحرارة الجافة

الحرارة الجافة تتطلب وقت أطول ودرجة حرارة أعلى من الحرارة
الرطبة نظراً لأن التوصيل الحرارى بالهواء أقل كفاءة من البخار
الرطب . بالإضافة الى ذلك فان البكتيريا تظل حية فى ظروف الجفاف
التام . وتحت ظروف الجفاف التام فحتى الخلايا الخضرية تقاوم
الحرارة العالية الى درجة تقرب من درجة مقاومة الجراثيم الداخلية
للبكتيريا . لذلك فمعدل الموت للخلايا الجافة أقل كثيراً من معدل
الموت فى الخلايا الرطبة . وتستخدم الحرارة الجافة أساساً لتعقيم
الأدوات الزجاجية والمواد الصلبة الأخرى التى تتحمل الحرارة المرتفعة
وذلك بعد لفها فى ورق أو وضعها فى عبوات تمنع إعادة تلوثها بعد
التعقيم .

ويجرى التعقيم عادة على درجة حرارة من ١٦٠ - ١٨٠ م° لمدة
من ١ - ٣ ساعات فى أفران خاصة .

ب - التعقيم بالحرارة الرطبة

التعقيم بالبخار الرطب يستخدم لتعقيم المحاليل المائية .

وتجرى هذه المعاملة فى أوعية معدنية ذات تصميم خاص (شكل ٣-٣)
تسمى المعقم (الأوتوكلاف Autoclave) الذى يملأ بالبخار الرطب
على ضغط أعلى من الضغط الجوى . لذلك ، فالتعقيم يمكن الوصول
اليه على درجة حرارة أعلى من درجة حرارة غليان الماء على ضغط
أعلى من الضغط الجوى العادى . ومعظم معقمات المعامل تشغل
بصفة عامة على ١٤٧ رطل / البوصة المربعة (تقريبا ١٥ رطل / البوصة
المربعة أو ١ كجم / سم^٢) فوق الضغط الجوى . وعند هذا الضغط
تكون درجة الحرارة داخل الأوتوكلاف حوالى ١٢١.٦م^٢ تقريبا بشرط أن
يكون المعقم قد تم تفريغه من الهواء تماما . وعند هذه الدرجة من
الحرارة تموت أكثر الأحياء الدقيقة مقاومة للحرارة وهى الجراثيم
الداخلية للبكتيريا عند تعريضها فترة زمنية قصيرة علما بأن بعض
جراثيم البكتيريا تتحمل درجات حرارة غليان الماء لعدة ساعات . وعند
الرغبة فى تعقيم كميات كبيرة من المحلول فانه يلزم اطالة مدة التعقيم
للاخذ فى الاعتبار الوقت الذى ينقضى لكى تصل درجة حرارة جميع
أنحاء المحلول الى درجة حرارة التعقيم .

درجة ١٢١.٦م^٢ داخل الأوتوكلاف يمكن الوصول اليها عند
ضغط ١٥ رطل / البوصة المربعة (١ كجم / سم^٢)
بشرط طرد كل الهواء من داخل المعقم لكى يكون كل الضغط المتولد
داخل المعقم ناتج عن ضغط بخار الماء . فعند بداية التعقيم يجب
طرد كل الهواء الذى يشغل حيز المعقم الداخلى بواسطة البخار
الناتج عن التسخين ، وتزود المعقمات بصمامات خاصة لطرد الهواء ،
فتترك تلك الصمامات مفتوحة بعد اغلاق المعقم وبعد بدء التشغيل
وعند غليان الماء داخل المعقم يحل البخار محل الهواء طاردا اياه
من الصمام المذكور ويستدل على خروج الهواء كله من المعقم بخروج
تيار مستمر غير متقطع من البخار من الصمام المذكور . وبعد تمام طرد
الهواء يغلق الصمام ويسمح للضغط بالارتفاع حتى يصل الى ١٥ رطل /
البوصة المربعة وعادة يتم التعقيم على هذه الدرجة لمدة ١٥ دقيقة
ثم يفصل مصدر الحرارة ويترك المعقم ليبرد تدريجيا حتى ينخفض
الضغط الى مستوى الضغط الجوى العادى ثم يفتح المعقم ، ويحظر

فتح المعقم قبل انخفاض الضغط لمستوى الضغط الجوي العادى لما قد يسببه من تعرض الشخص القائم بفتحة للبخار المضغوط .

كما يجب الاشارة الى أن عدم التخلص من الهواء تماما من المعقم يؤدى الى عدم كفاية المعاملة الحرارية للتعقيم لأن وجود بعض الهواء مع البخار يقلل من درجات الحرارة التى يمكن الوصول اليها .

ولذلك تزود المعقمات بمقياس لدرجة الحرارة (ترمومتر) ومقياس لقياس الضغط (مانومتر) . كما يجب وجود صمام أمان لتصريف البخار الزائد - اذا وجد - لمنع انفجار الجهاز اذا استمر توليد البخار فيه أكثر من ١٥ رطل / البوصة المربعة ولمنع تكرمل أو احتراق بعض المكونات المواد المراد تعقيمها . كما تزود بعض المعقمات حالياً بخراط ورقية ذات ألوان معينة وتتغير هذه الألوان اذا كانت المعاملة الحرارية غير كافية .

ج - التعقيم بالمعاملات الحرارية المتقطعة :

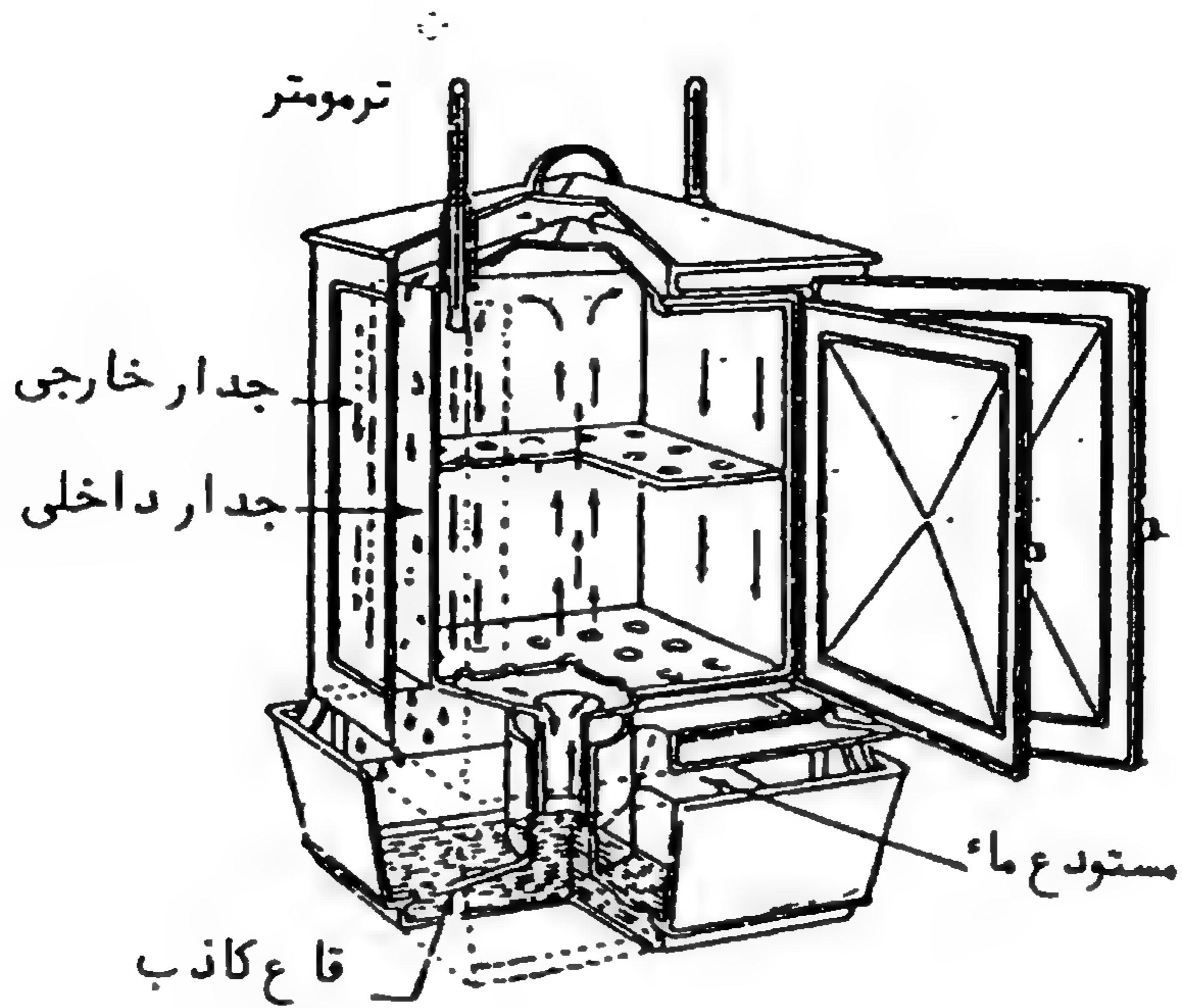
لقد سبق الاشارة الى أن تعقيم السوائل (المحاليل المائية) يتم عادة بالمعقم (الأوتوكلاف) باستخدام البخار الرطب . الا أن بعض المحاليل المائية الحيوية لا تتحمل درجات الحرارة المرتفعة المذكورة وينتج عن ذلك تكرمل السكريات أو تجمع البروتينات . وفى مثل هذه الحالة تستخدم درجات حرارة أقل من درجة الحرارة المستخدمة فى التعقيم بالحرارة الرطبة ولكن على فترات متعددة . والفكرة فى التعقيم بالمعاملات الحرارية المتقطعة هو قتل الخلايا الخضرية بالمعاملة الحرارية الأولى ($100^{\circ}\text{C} / 30$ دقيقة) وتؤدى هذه المعاملة الحرارية الأولى أن تنشيط الجراثيم لكى تثبت ، ثم تعامل المادة الغذائية بالحرارة ($100^{\circ}\text{C} / 30$ دقيقة) مرة ثانية فى اليوم الثانى لقتل الخلايا الخضرية وتنشيط البقية الباقية من الجراثيم لكى تثبت ثم تقتل بمعاملة حرارية ($100^{\circ}\text{C} / 30$ دقيقة) ماثلة فى اليوم الثالث .

وتعرف هذه الطريقة باسم Tyndallization ثم تحضن المادة المعقمة بعد ذلك على ٣٠° م للتأكد من خلوها من الأحياء الدقيقة، ولا يلزم في مثل هذه الطريقة استعمال الأوتوكلاف ويمكن استعمال حمام مائى مغطى أو يستخدم لذلك معقم أرنولد Arnold sterilizer الذى يسخن بالبخار أو بالماء (شكلى ٣-٤ ، ٣-٥) .

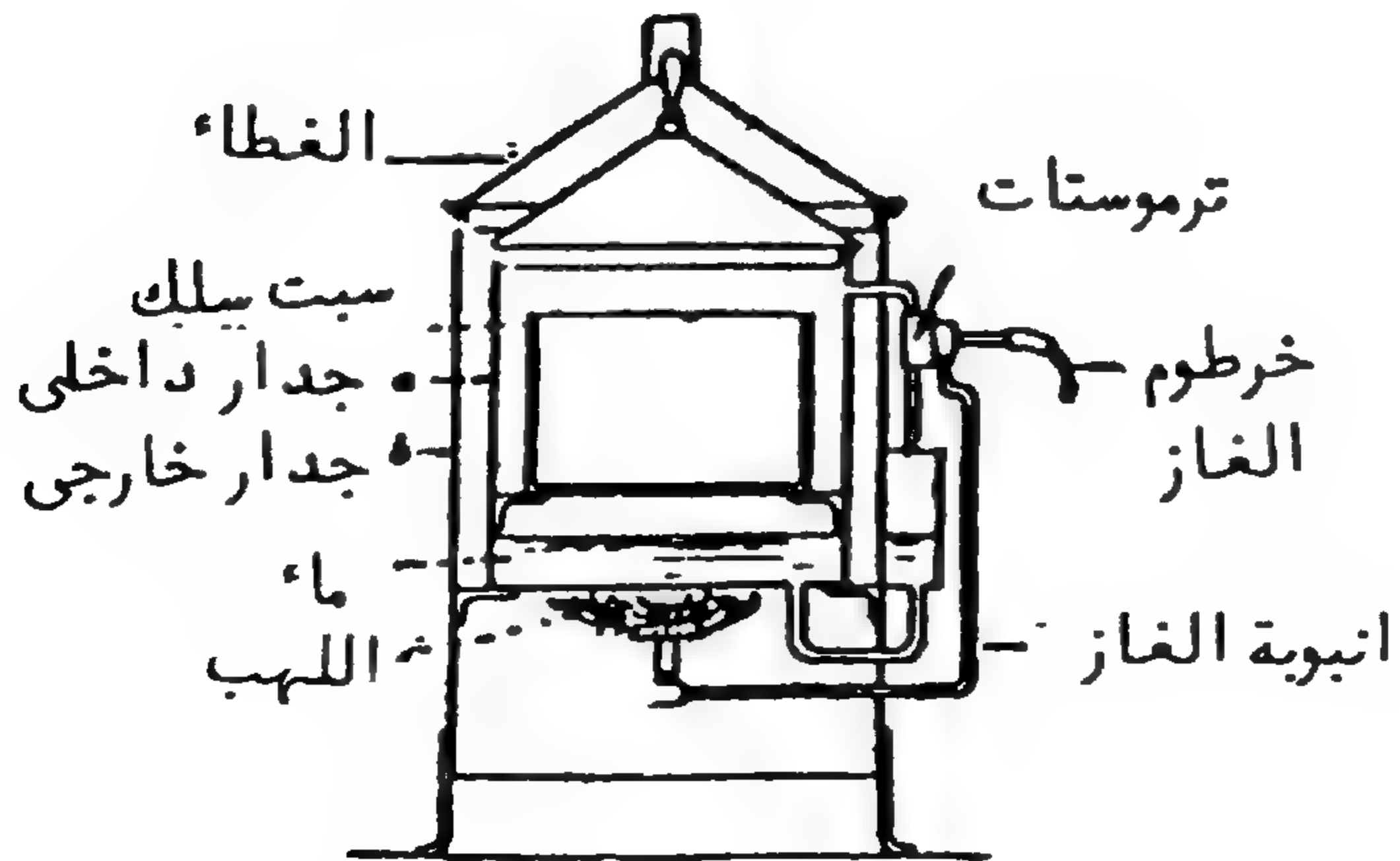
وقد استعمل فى الماضى طريقة أخرى مشابهة تعتمد على نفس الأساس لتعقيم سيرم الدم والذى لا يتحمل درجات غليان الماء . فتستخدم درجات حرارة ٥٧° م لمدة ساعة يوميا . وتكرر المعاملة لمدة ثمانية أيام متتالية . وهذه الطريقة غير شائعة الاستعمال الآن . - وتستخدم طرق أخرى أكثر دقة وفاعلية .

(٢) التعقيم بالأشعاعات Radiation Sterilization

الأشعة تخرج من مصادر الطاقة وتنتقل من مكان لآخر فى الهواء أو فى الفراغ الخارجى Outer space وتتكون من جزيئات Particles أو موجات كهرومغناطيسية Electromagnetic waves . الأشعة ذات الجزيئات Particles عبارة عن موجات من الذرات أو الالكترونات أو النيوترونات ولن نناقشها هنا . أما الأشعة الكهرومغناطيسية فهى النوع الذى يهمنا وهى تشمل موجات الراديو Radio waves والضوء والأشعة السينية X-ray وتتحدد خواص الأشعة الكهرومغناطيسية بالطول الموجى لها . وأطول موجات الأشعة هى موجات الراديو وليس لها تأثير يذكر على الأنظمة الحيوية . أما الأشعة التى تنقص فى الطول الموجى عنها فهى الأشعة تحت الحمراء Infrared rays وهى أشعة منتجة للحرارة عند ما تمتص . ويجدر الإشارة أن الأشعة تحت الحمراء ذات طول موجى أقل من ١٠٠٠ نانوميتر وأكبر من ٧٦٠ نانوميتر يمكن استخدامها بواسطة البكتيريا الممثلة للضوء كمصدر للطاقة ، أما الجزء المرئى (بواسطة العين) من الأشعة فهو ذلك الجزء من الأشعة الذى له طول موجى يتراوح بين ٣٨٠ - ٧٦٠ نانوميتر . وهذه الأشعة هى المصدر



شکل ۳-۴: جهاز ارنولد يشتغل بالبخار مباشرة



شکل ۳-۵: جهاز ارنولد للتعقيم بالبخار على ١٠٠°م

الأساسي للطاقة للطحالب (الكائنات الدقيقة ذات النواة الحقيقية الممثلة للضوء) .

أما الأشعة الأقصر في الطول الموجي (وهي أشعة غير مرئية) فهي الأشعة فوق البنفسجية UV Light والتي يتراوح طولها الموجي بين ٢٠٠ - ٣٨٠ نانوميتر فهي ذات تأثير متركب للأحياء (الأنظمة الحية) وخاصة كلما قل الطول الموجي .

أقوى مصدر للأشعة تحت الحمراء Infrared والأشعة المرئية Visible light والأشعة فوق البنفسجية --Ultraviolet radiations هو الشمس رغم أن جزءاً هاماً من الأشعة تحت الحمراء والأشعة فوق البنفسجية لا يصل إلى الأرض نتيجة امتصاصه في طبقات الهواء الجوي.

أشعة التآين Ionizing radiations هي أشعة ذات طول موجي أقصر من الأشعة فوق البنفسجية وتشمل الأشعة السينية X-rays وهي عادة تنتج من مصادر صناعية ، والأشعة جاما Gamma rays وهي شبيهة بالأشعة السينية تنتج من تحلل decay المواد المشعة ، والأشعة الكونية Cosmic rays التي تصل إلى الأرض من الفضاء الخارجي Outer-space . وكل أنواع أشعة التآين تسبب تأيئاً للماء ومواد أخرى ولها تأثير ضار على الأحياء .

وفيما يلي نتعرض لأنواع الأشعة الثلاث (فوق البنفسجية - والضوء المرئي وأشعة التآين) التي تستعمل في التعقيم .

أ- الأشعة فوق البنفسجية UV radiations :

الأشعة فوق البنفسجية ذات أهمية خاصة في التعقيم نظراً لتأثيرها القاتل على الكائنات الدقيقة . ورغم أن الشمس تشع كميات كبيرة من الأشعة فوق البنفسجية بأطوالها الموجية المختلفة ، إلا أن معظم الأشعة فوق البنفسجية ذات الطول الموجي القصير ، وهي الأشعة ذات التأثير الأقوى في التعقيم تمتص في طبقات الجو . أما الأشعة

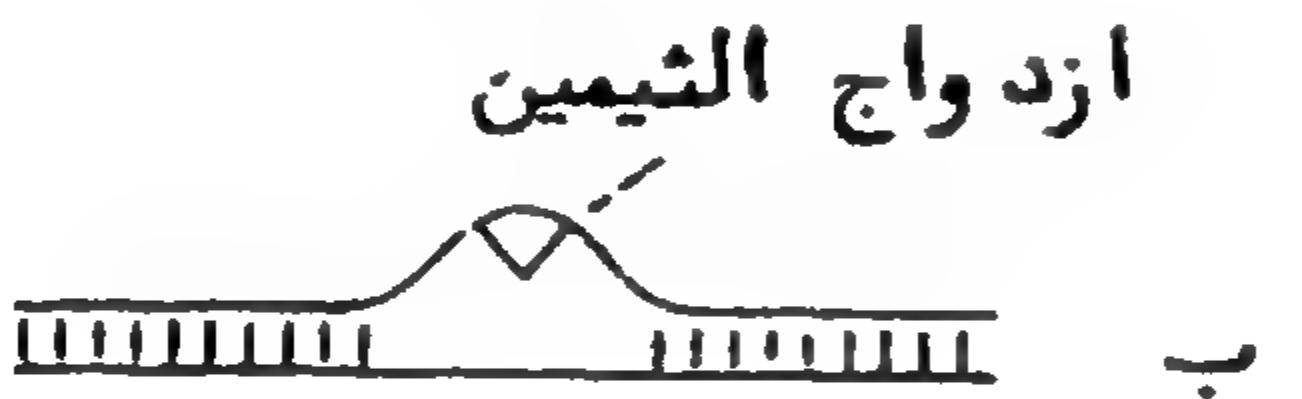
فوق البنفسجية ذات الطول الموجي الأطول (وهي الأشعة ذات التأثير الأقل في التعقيم) فيصل معظمها الى الأرض . والكائنات الحية الدقيقة التي تصل الى طبقات الجو العليا بطريقة أو أخرى تقتل بسرعة بواسطة الأشعة فوق البنفسجية . كما أن الأحياء الدقيقة على أسطح الصخور المعرضة لأشعة الشمس تقتل أيضا بالأشعة فوق البنفسجية .

تمتص قواعد البيورين والبيريميدين - الموجودة في الأحماض النووية للخلية - الأشعة فوق البنفسجية بشدة وأقصى امتصاص للأشعة فوق البنفسجية هو عند طول موجي مقداره ٢٦٠ نانوميتر . كما أن البروتينات أيضا تمتص الأشعة فوق البنفسجية ، وأقصى امتصاص للبروتينات للأشعة فوق البنفسجية هو عند طول موجي ٢٨٠ نانوميتر حيث تمتص الأشعة فوق البنفسجية بواسطة الأحماض الأمينية الحلقية (التربتوفان - الفينيل ألانين - والتيروزين) . وقد ثبت أن التأثير القاتل للأشعة فوق البنفسجية إنما يعزى أساسا لتكوين ازدواج الثيمين Thymine dimers فترتبط قاعدة ثييمين متجاورتين ببعضهما ارتباطا كيميائيا لينفصلا بذلك عن القاعدتين المقابلتين (أدنين - أدنين) ففي السلسلة الثانية من الحمض النووي DNA (شكل ٣-٦) .

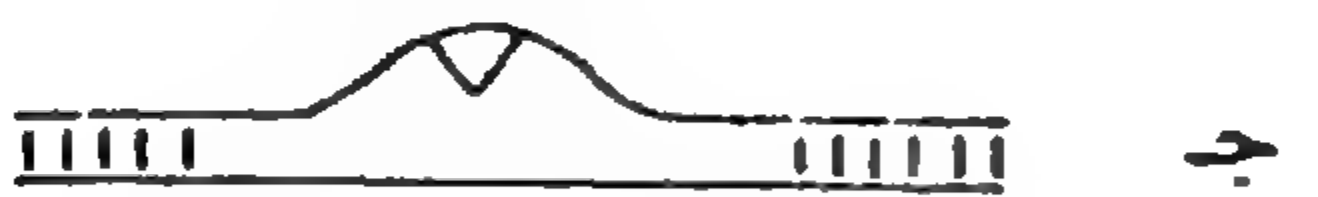
وتحتوي كثير من الكائنات على نظم لإصلاح التلف الحادث نتيجة لتكوين ازدواج الثيمين . . . ونظم الإصلاح هذه قد لا تتم الا في الضوء فتسمى " نظم الإصلاح المنشطة بالضوء " Repair mechanism photo reactivation ، وقد يتم إصلاح التلف في الظلام فيسمى نظم الإصلاح التي تتم في الظلام - Repair mechanism dark reactivation ولا يعتبر الضوء ضروري لحدوثها . ونظرا لوجود نظم الإصلاح المذكورة فان الأشعة فوق البنفسجية تقتل الأحياء الدقيقة اذا كانت التلفيات التي تحدث في الأحماض النووية أكبر من كفاءة نظم الإصلاح على إصلاح التلف .

رغم أن الهواء الجوي يمتص كميات كبيرة من الأشعة فوق البنفسجية الا أن كميات كبيرة منها تصل الى الأرض ، ولا شك أن الأشعة فوق البنفسجية تلعب دورا كبيرا في تنظيم البيئات Environments التي تتعرض لكميات كبيرة من أشعة الشمس مثل

المعاملة بالأشعة فوق البنفسجية



ارتباط الانزيم المنشط (PR)
بالضوء
ضوء مرئي



التحرر من الانزيم
والحصول على دن أ سليم
جزئي دن أ تم اصلاحه

شكل ٣-٦ : تكوين ازدواج الثيمين
واصلاح التلف المنشط بالضوء .

أ - جزئي دن أ سليمة قبل
التعرض للأشعة فوق
البنفسجية .

ب - جزئي دن أ تعرض للأشعة
فوق البنفسجية فتكون به
ازدواج الثيمين .

ج - اصلاح التلف المنشط بالضوء
حيث يقوم انزيم (PR)
بإزالة الجزء التالف . وهذا
الانزيم ينشط في وجود الضوء .

د - يتم بناء جزء بديل لاستكمال
جزئي دن أ الأصلي ، بذلك
يتم اصلاح التلف .

البحيرات وسطح التربة والصخور وغيرها . وتصل الأشعة فوق البنفسجية لأقصى تركيز لها في وسط النهار في الأيام المشمسة الخالية من الغبار ، حيث يكون اختراق أشعة الشمس لطبقات الهواء أعلى ما يمكن .

ولا شك أن الأشخاص الذين تحتم عليهم أعمالهم التعرض لأشعة الشمس لأوقات طويلة تتأثر جلودهم بذلك تأثر واضح .

وتستغل الأشعة فوق البنفسجية في تعقيم أماكن خاصة مثل غرف العمليات الجراحية لتقليل فرص تلوث الجروح . وكذلك في مختبرات مزارع الأنسجة Tissue culture ومعامل تعبئة الأدوية والعقاقير المعقمة وغرف التلقيح Inoculation rooms الملحقة بمختبرات الأحياء الدقيقة . وفي محطات الحجر الزراعي لتطهير المنتجات الزراعية مما يكون عالقا بها من الأحياء الدقيقة التي يخشى انتقالها من مكان لآخر ، كما تستخدم لمبات الأشعة فوق البنفسجية لتعقيم الأسطح التي يخشى تعرضها للحرارة مثل الأسطح البلاستيكية المراد تعقيمها وغيرها كأسطح المنشآت في المعامل البكتريولوجية . والأشعة فوق البنفسجية UV Radiation ذات قدرة محدودة على الاختراق أو التغلغل داخل الأشياء ، لذلك ففعلها التعقيمي يكون سطحيا لدرجة أن طبقة رقيقة جدا من الزجاج تحجز نسبة كبيرة منها ، لذلك لا تستخدم الأشعة فوق البنفسجية لتعقيم المواد في الأوعية الزجاجية .

ب. الضوء المرئي : Visible light

يمكن استخدام الضوء المرئي بقوة كافية لعمل تلافيات خلوية تؤدي إلى مقتل الخلية. توجد ميكانيكيتان لمقتل الأحياء الدقيقة بالضوء المرئي ، أحدهما تتضمن وجود الأكسجين الجزيئي والثانية لا تعتمد على وجود الأكسجين ، وكلا الطريقتان تعتمدان على وجود المواد المستصة للضوء Photosensitizers في الخلية (والتي توجد في كل الخلايا تقريبا) مثل السيتركروم Cytochrome أو الفلافين Flavins أو الكلوروفيل Chlorophylls فعندما تمتص هذه المواد الضوء فانها

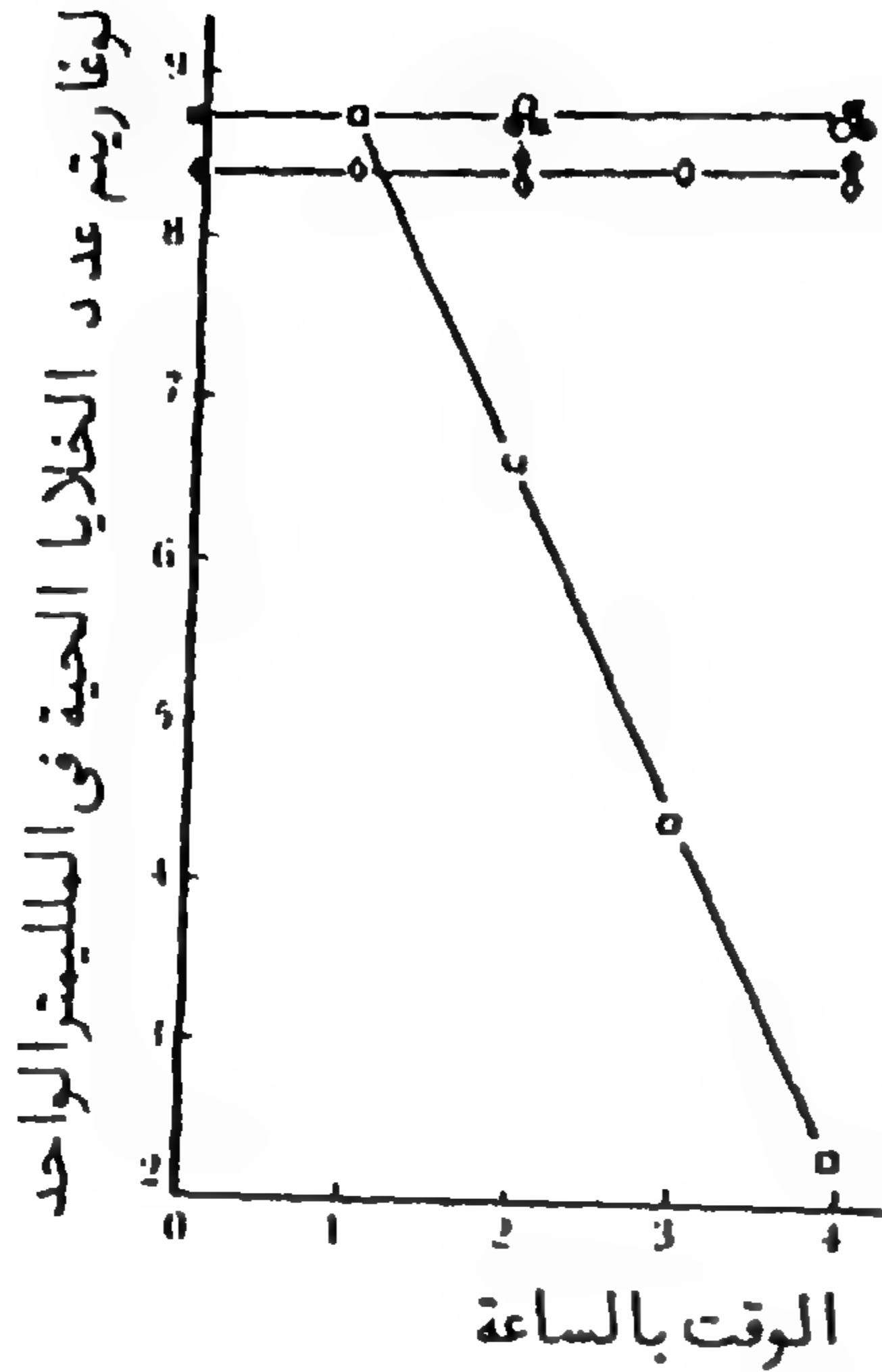
تصبح نشطة وتصبح ذات مستوى طاقة مرتفع ويمكن لهذه المواد العودة لمستوى الطاقة الأدنى Ground state بإشعاع الطاقة في صورة ضوء أو فلورسنت Fluorescence أو بواسطة نقل الطاقة الزائدة لمركبات كيميائية أخرى في الخلية .

ففي ميكانيكية القتل التي لا تعتمد على وجود الأكسجين تنتقل الطاقة من المادة الممتصة للضوء (كالسيتوكروم أو الفلافين أو الكلوروفيل) الى أي من عدة مركبات مكونة أصولا حرة Free radicals ذات القدرة الهائلة على التفاعل ويمكنها أحداث تفاعلات ضارة . وهذا التفاعل محدود جدا اذا ما قورن بالميكانيكية الأخرى والتي تشمل الأكسجين النشط Singlet oxygen (1O_2) .

أما الميكانيكية التي تشمل تكوين الأكسجين النشط فانها تتم نتيجة امتصاص الضوء بالمواد الممتصة للضوء السابق الإشارة اليها وعندئذ تصبح نشطة وهي ذات فترة حياة Life time قصيرة ويمكنها الوصول الى الحالة الدنيا بإشعاع الطاقة في صورة ضوء أو فلورسنت أو نقل الطاقة الى الأكسجين مكونة الأكسجين النشط Singlet oxygen وهذا الأكسجين النشط يكون ذا قدرة هائلة على الأكسدة ويمكنه أن يسبب عدة تأثيرات قاتلة ، لذلك فان بعض الأحياء الدقيقة التي تحتوى على مواد ممتصة للضوء بكثرة مع وجودها في أماكن معرضة للشمس لفترات طويلة - تكون ملونة فتمتص الصبغات اللونية معظم الضوء المرئى ، وبذلك تتمكن الخلية من الحياة (شكل ٣-٧) ولا يستخدم الضوء المرئى كوسيلة للتعقيم .

ج - أشعة التأين Ionizing radiation :

ان التأثير القاتل لأشعة التأين لا يأتى نتيجة تأثير الأشعة على مكونات الخلية ، بل يأتى نتيجة تكوين أصول حرة Free radicals ذات قدرة هائلة على التفاعل ، وخاصة أصول الهيدروكسيل (OH^-) ومثل هذه الأصول الحرة يمكنها التفاعل مع الجزيئات الكبيرة Macromolecules .



شكل ٣-٧ : تأثير ضوء الشمس على حيوية البكتيريا الكروية ميكروكوكاس لوتا (البيضاء أو الصفراء) *Micrococcus Lutea*

لاحظ أن الموت يحدث في السلالة البيضاء ولا يحدث في السلالة الصفراء .
حيث أن الصبغة الصفراء تكسب الخلايا حماية من الضوء المرئي . ولا يحدث القتل في الظروف اللاهوائية ، ولكن فقط في وجود الهواء . ولذلك فإن القتل بالضوء عبارة عن تفاعلات أكسدة تتطلب وجود الأكسجين .

نقلا عن : Mathews, M.M. and Sistorm 1959 Nature 184: 1982

- ١- في وجود الهواء .
 - خلايا صفراء في الضوء .
 - خلايا صفراء في الظلام .
 - ◐ خلايا بيضاء في الضوء .
 - خلايا بيضاء في الظلام .
- ٢- في وجود النيتروجين .
 - خلايا بيضاء في الضوء
 - ◆ خلايا بيضاء في الظلام .

وتثبيطها في الخلية . ولو أن هذه الأصول الحرة يمكنها التفاعـل مع معظم مكونات الخلية الا أن القتل يأتي نتيجة تأثيرها على الحمض النووي د ن أ DNA حيث توجد نسخة واحدة فقط من الحمض النووي د ن أ ، فاذا تلفت تموت الخلية ، أما الانزيمات ومختلف البروتينات فيوجد منها عدة نسخ ، فاذا تلفت نسخة فباقي النسخ تقوم بالعمل الحيوى .

ويمكن اصلاح بعض التلفيات التي تحدث في الخلية نتيجة أشعة التأين ، وهذا الاصلاح يمكن أن يتم في الظلام Dark reactivation أما نظم الاصلاح التي تنشط بالضوء Photo reactivation فهي غير معروفة بالنسبة لتلفيات أشعة التأين .

بعض البكتيريا مقاومة جدا لهذا النوع من الأشعة مثل Micrococcus radiodurans وبعضها حساس لأشعة التأين مثل Pseudomonas كما أن البكتيريا الخضرية الجافة وكذلك جراثيم البكتيريا تكون أقل حساسية لأشعة التأين من البكتيريا الخضرية الرطبة . فعدم وجود الرطوبة يقلل من تأثير الأحياء الدقيقة بأشعة التأين .

كمية الاشعاع الكونى Cosmic rays التي تصل الى الأرض ليس لها تأثير يذكر على الأحياء نظراً لأن مستواها منخفض جداً .

ثانياً : الطرق الكيميائية للتعقيم

Chemical methods of sterilization

تستعمل بعض المواد الكيميائية في أغراض التعقيم وذلك لفعلها المميت ، والمواد ذات التأثير القاتل للأحياء الدقيقة تسمى مبيدات الميكروبات أو مبيدات الأحياء الدقيقة Germicides وهي تستخدم على نطاق واسع حيثما لا يمكن استعمال الحرارة أو الأشعة أو الموجات الضوئية للتعقيم ، فالمستشفيات تجد من الضروري استعمال الطرق الكيميائية لتعقيم الأشياء التي تتأثر بالحرارة مثل معدات الجراحة

أو مقاييس درجة الحرارة (الترمومترات) أو المعدات البصرية أو نابيب البوليثيلين ومعدات التخدير . كما أن مصانع الأغذية تستخدم الطرق الكيميائية لتطهير أسطح المعدات التي تلامس الأغذية وكذلك أسطح الأرضيات والحوائط . ولا بد من الإشارة الى أن كثير من المواد الكيميائية يجب استخدامها بحذر شديد ليس فقط لما قد تسببه من تأثير ضار للغذاء أو الأشياء التي تستخدم لتطهيرها ، بل أيضا لأن كثير من مبيدات الأحياء الدقيقة Germicides تكون في الغالب ذات تأثير قاتل للخلايا الخضرية فقط بينما يكون تأثيرها بسيط في قتل الجراثيم (الأبواغ) الداخلية للبكتيريا . وقد ذكرنا سابقا أن التعبير تعقيم يعنى قتل أو إزالة كل الأحياء الدقيقة بما في ذلك الجراثيم (الأبواغ) . كما يجب الإشارة الى أن ميكروب السل المسمى Mycobac-terium tuberculosis يكون مقاوما لكثير من مبيدات الأحياء الدقيقة Germicides وهو في حالته الخضرية .

وكثير من مبيدات الأحياء الدقيقة تكون ذات تأثير متخصص فالمواد التي تستخدم في قتل الفطريات تسمى مبيدات فطرية Fungicides وتسمى المواد ذات التأثير القاتل للبكتيريا مبيدات بكتيرية Bacteriocides والمواد ذات التأثير القاتل للطحالب تسمى مبيدات طحلبية Algicides . وهكذا يجب أيضا التمييز بين المواد القاتلة للميكروبات Germicides والمواد التي توقف نشاط الكائنات الدقيقة أو تعمل على إزالتها والتي تسمى مثبطات ميكروبية أو مثبطات الأحياء الدقيقة Germistatic وهذه الأخيرة أيضا ذات تأثير متخصص نوعا ما ، فالمواد ذات التأثير المثبط لنمو البكتيريا تسمى مثبطات بكتيرية Bacteriostatic والمواد ذات التأثير المثبط لنمو الفطريات تسمى مثبطات فطرية Fungistatic والمواد ذات التأثير المثبط لنمو الطحالب تسمى مثبطات طحلبية Algistatic وهكذا .

وكثيرا ما تقسم المواد ذات التأثير القاتل للأحياء الدقيقة الى قسمين هما :

(١) المواد المطهرة التي تستخدم لتطهير الجلد والأغشية المخاطية وتسمى مطهرات الجلد أو المطهرات الخارجية Antiseptic وهي مواد قاتلة للأحياء الدقيقة وليس لها تأثير على الجلد أو الأغشية المخاطية .

(٢) المواد المطهرة التي تستخدم لتطهير الأشياء وتسمى المطهرات السطحية Disinfectant وهي مواد قاتلة للأحياء الدقيقة ولكن قد يكون لها تأثير ضار بالجلد أو الأغشية المخاطية ، وتستخدم لتطهير أسطح المنشآت والأرضيات والحوائط ودورات المياة وأدوات الجراحة وغيرها . ولا بد من التركيز على أن معظم المواد القاتلة للأحياء الدقيقة Germicides ذات تأثير محدود في قتل الجراثيم (الأيوغ) الداخلية للبكتيريا . والجدول رقم (١-٣) يبين أقسام المواد التي تستخدم لتطهير الجلد Antiseptics والمواد التي تستخدم لتطهير الأشياء Disinfectants .

ثالثاً : الطرق الميكانيكية للتقيم

Mechanical methods of sterilizations

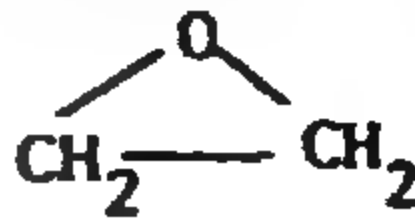
الفكرة الأساسية في استخدام الطرق الميكانيكية تعتمد على إزالة الأحياء الدقيقة من الوسط المراد تعقيمه بالترشيح خلال مرشحات ذات ثقب لا تسمح بمرور الأحياء الدقيقة وتستخدم هذه الطريقة أيضاً لتعقيم المواد الحساسة للمعاملات الحرارية المرتفعة ، ولقد كان يعاب على التعقيم بالترشيح عدم قدرته على حجز الفيروسات ، وذلك نظراً للصغر المتناهي لهذه الكائنات ، فالفيروسات تقترب في حجمها من حجم الجزيئات الكبيرة ، أما الآن فيوجد في الأسواق مرشحات لا تسمح بمرور الفيروسات منها بما يسمح بتعقيم السوائل وإزالة حتى الفيروسات منها .

وقد استخدمت المرشحات في الماضي وما زالت تستخدم لفصل الكائنات الحية الخلوية عن الفيروسات . والمرشحات التي تستخدم لفصل

جدول ٣-١ : أقسام مبيدات الأحياء الدقيقة واستعمالاتها

المبيدات	تأثيرها
(١) أملاح المعادن الثقيلة :	
<u>الزئبق : كلوريد الزئبق</u> $HgCl_2$	يرتبط بمجموعة السلفدريل (SH) في البروتينات . وهو شديد السمية للإنسان ويمكن معادلته بمركبات تحتوي على مجموعة السلفدريل والمواد العضوية وتستخدم لتطهير الأسطح الخارجية disinfectant .
<u>الفضة : نترات الفضة</u> $AgNO_3$	يرسب البروتينات . ويمكن معادلته بالمواد العضوية . يستخدم لتطهير عيون المواليد الجدد للوقاية من ميكروب الزهري .
<u>النحاس : كبريتات النحاس</u> $CuSO_4$	مادة مبيدة للطحالب . يستخدم في حمامات السباحة وامتدادات الماء . كما يستخدم كمادة مبيدة للفطريات في أمراض النبات الفطرية .
(٢) الهالوجينات :	
<u>اليود : صبغة اليود (٢٪)</u> يود في ٧٠ ٪ إيثانول (كما تستخدم أحيانا مركبات معقدة من اليود .	يرتبط اليود مع البروتينات المحتوية بقايا الحمض الأميني تيروسين . وهو مادة مطهرة للجلد ويستخدم أحيانا لتطهير المعدات الطبية كما يمكن استخدامه على نطاق ضيق لتطهير المياه بتركيزات منخفضة حيث أنه سام إذا أخذ داخليا ولكنه غير سام عند استخدامه لتطهير الجلد .
<u>الكلورين : غار الكلور ، أو أحد أملاح الهيبوكلوريت</u> (OCl^-) .	مادة مؤكسدة قوية . يمكن معادلته بالمواد العضوية أو الأمونيا . يستخدم في تطهير مياه الشرب ، وكذلك لتطهير الأسطح التي تلامس الأغذية ومنتجات الألبان في مصانع الأغذية والألبان .

**تابع جدول ٣-١ : أقسام مبيدات الأحياء الدقيقة
واستعمالاتها .**

المبيدات	تأثيرها
<p>(٣) الكحولات :</p> <p>كحول الايثانول أو كحول الازوبروبانول ، وهى أكثر فعالية فى التعقيم عند تركيز ٥٠ - ٧٠ ٪ .</p>	<p>الكحولات تذيب الدهون وترسب البروتينات تستخدم لتطهير الجلد ولتطهير المعدات فى المستشفيات .</p>
<p>(٤) الألدهيدات :</p> <p><u>الفورمالدهيد</u> : وهو يوجد فى الأسوان فى صورة محاليل ٣٧ ٪ (يسمى فورمالين) ويمكن استخدامه بتركيز ٢ ٪ فى محلول مائى .</p>	<p>وهو يضيف مجموعة الكيل Alkylating agent للمواد العضوية . ويرتبط بمجموعات الأمين $-NH_2$ والكربوكسيل $-COOH$ والسلفيدريل SH فى الأحماض النووية والبروتينات ، ويمكن معادلته بالمواد العضوية . يستخدم لحفظ العينات المعملية القابلة للتلف . كما أن حفظ اللحوم والأسماك ^{بالسليين} يعتمد على وجود كميات صغيرة من الفورمالدهيد تنتج أثناء حرق الخشب وتحفظ اللحوم والأسماك .</p>
<p><u>جلوتار ألد هيد</u> : يستخدم بتركيز ٢ ٪ محلول مائى</p> <p>$OHC-(CH_2)_3-CHO$</p>	<p>وهو أقل سمية من الفورمالدهيد . ويستخدم فى التعقيم البارد لمعدات المستشفيات ويمكن معادلته بالمواد العضوية .</p>
<p>(٥) أكسيد الايثيلين</p> <p>Ethylene oxide</p> <p>يستعمل كغاز</p> <p></p>	<p>وهو يضيف مجموعة الكيل Alkylating agent شديد السمية . يستخدم فى غرف غاز خاصة لتعقيم كل الأشياء الحساسة للحرارة مثل أطباق بتري البلاستيكية .</p>

تابع جدول ٣-١ : أقسام مبيدات الأحياء الدقيقة واستعمالاتها .

المبيدات	تأثيرها
<p>(٦) الفينولات :</p> <p>الفينول C_6H_5OH :</p> <p>يستخدم كمحلول مائي ٥ ٪ . كما أن العديد من مشتقات الفينول مع الهالوجينات أو الأكسيل أو الهيدروكسيل . . (كالكريزول والثيمول وغيرها) تستخدم للتعقيم أيضا .</p>	<p>ترسب البروتينات وتحدث خلل في الغشاء الخلوي على تركيزات منخفضة شديدة السمية . يمكن زيادة تأثيره بالصابون ، لا تتأثر الفينولات بالمواد العضوية . يستخدم لتطهير الأسطح الكبيرة القدرة (كالأرضيات والحوائط وغيرها) .</p>
<p>(٧) المنظفات الكاتيونية :</p> <p>حيث تكون أحد المجموعات الجانبية $R-N^+(R'')(R''')$ Cl^- R' (R) عبارة عن مجموعة الكيل طويلة السلسلة ، بينما المجاميع (R) الثلاث الأخرى عبارة عن ميثيل بنزيل .</p>	<p>تؤثر على الغشاء الخلوي نتيجة تداخلها مع الغشاء الخلوي . ويمكن معادلتها بالفوسفوليبيدات وأيونات المعادن والصابون والمواد العضوية ودرجة pH المنخفضة . تستخدم لتطهير الجلد وتطهير معدات المستشفيات ومعدات مصانع الأغذية والألبان .</p>
<p>(٨) الأوزون O_3</p> <p>غاز يتم إنتاجه في وقت الحاجة إليه باستخدام قرون جهد مرتفعة .</p>	<p>مادة مؤكسدة قوية . شديدة السمية للإنسان . يستخدم لتطهير المياه . يمكن معادلة فعله بالمواد العضوية .</p>

البكتيريا من السوائل تسمى المرشحات البكتيرية Bacterial filters نسبة لصغر حجم ثقبها عن حجم البكتيريا حيث تؤدي لحجز البكتيريا على أسطحها عند امرار معلقات البكتيريا عليها .

وفيما يلي نتعرض لأهم أنواع المرشحات المستخدمة في فصل الأحياء الدقيقة :

١- المرشحات البكتيرية

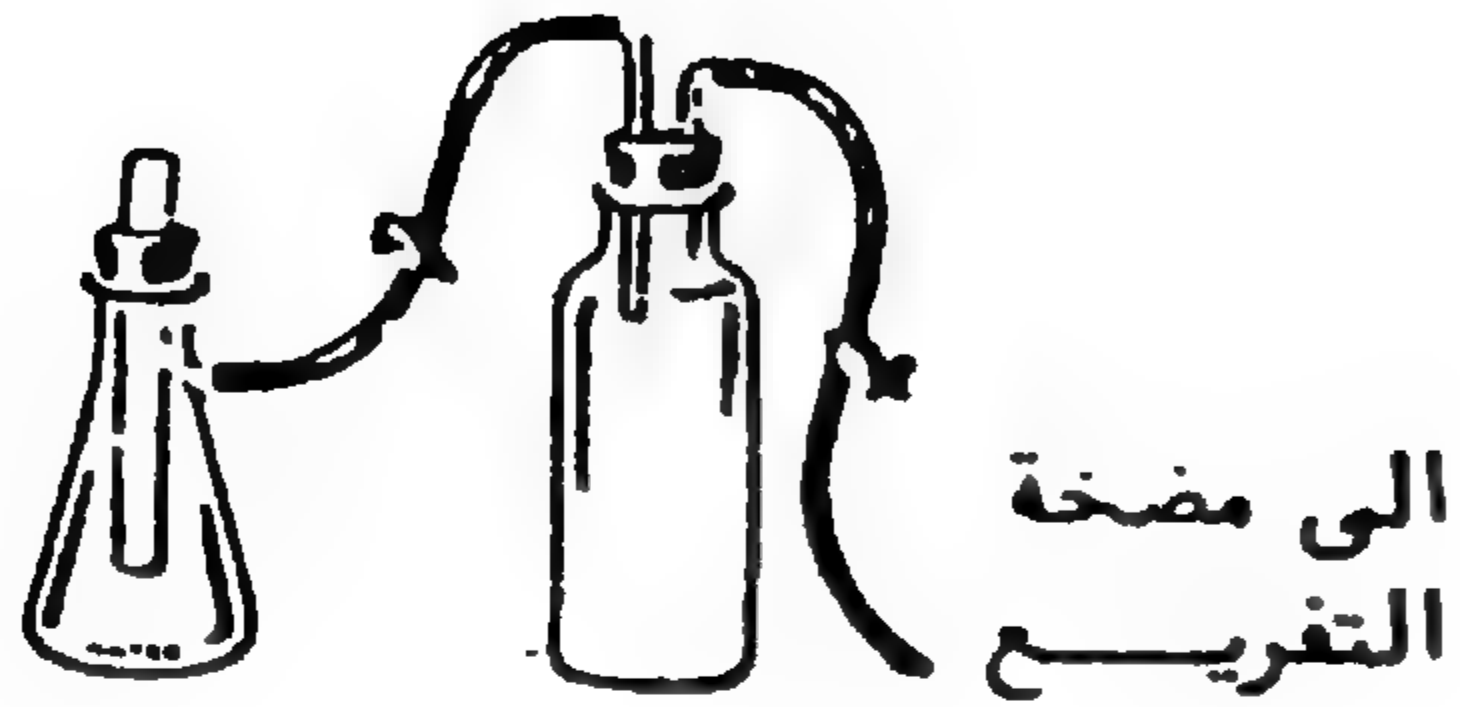
تستخدم المرشحات البكتيرية لتعقيم الهواء والغازات أو لفصل الكائنات الدقيقة الموجودة في الهواء والغازات وتتكون غالبا من أنابيب تحتوي على قطع من القطن المعقم أو تحتوي على مسحوق السكر والرمل المعقمان .

أما السوائل والمستبتات (البيئات الصناعية) فيستخدم فيها مرشحات ذات مسام صغيرة تحمل شحنات كهربائية وقوى سطحية Surface forces من شأنها ادمصاص البكتيريا على سطحها أو منع البكتيريا من المرور خلالها .

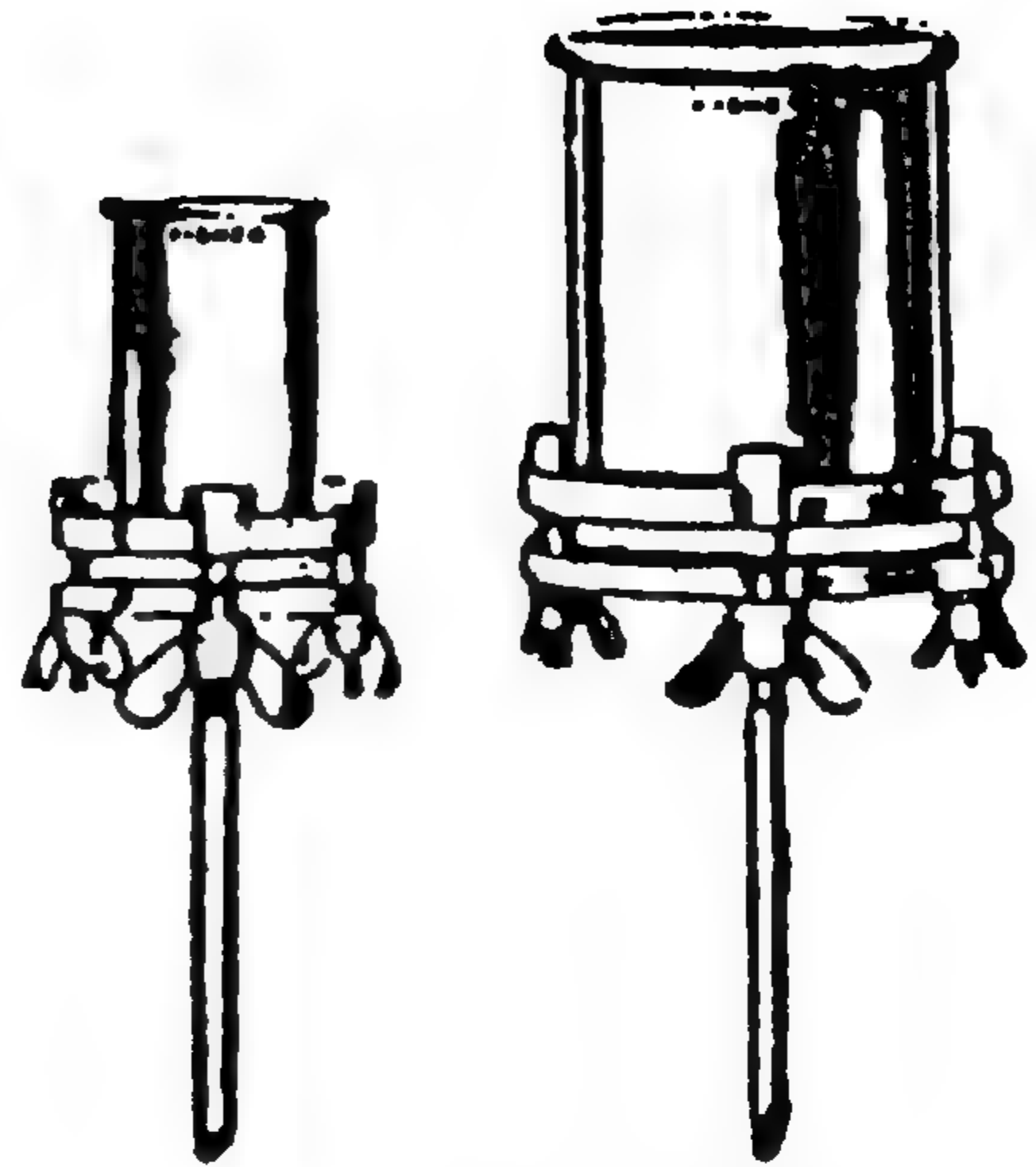
ومن أمثلة هذه المرشحات :

أ- مرشح سیتز : Seitz Filter

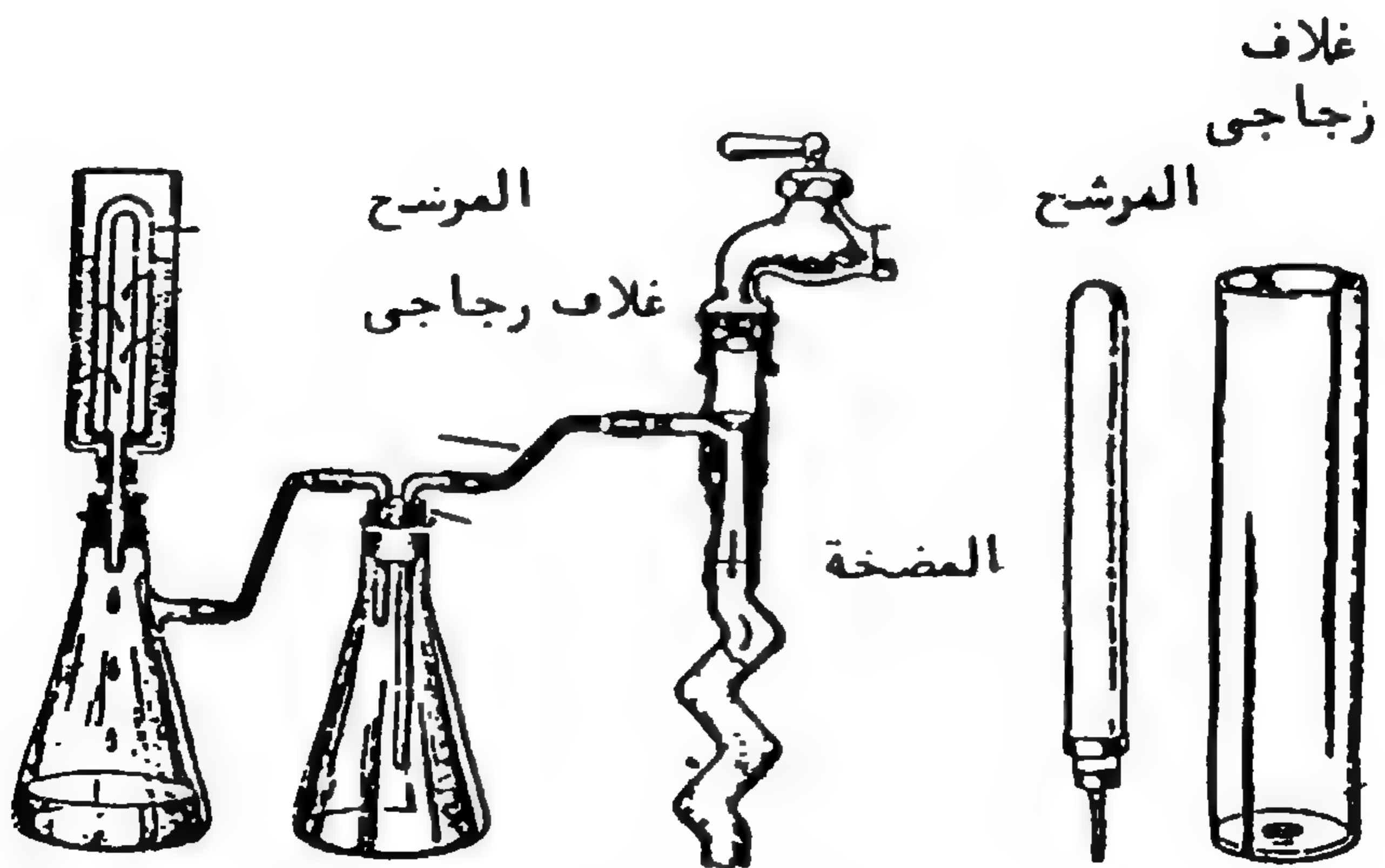
وهو عبارة عن قرص من الأسبستوس مركب على قمع معدني بواسطة مواسك خاصة ويركب هذا القمع على ورق مخروطي ذو ذراع جانبي ، ويجب تعقيم الدرق والمرشح المركب به القرص قبل استعماله ، ويخلخل الهواء من الدرق بواسطة مضخة تفريغ فيمر السائل خلال القرص معقما اياه الى الدرق (شكل ٣-٨) . ويعتمد فصل البكتيريا بهذه الطريقة على وجود شحنات كهربائية تعمل على ادمصاص البكتيريا ومنع مرورها .



شكل ٣-٩
مرشح تشمبرلند



شكل ٣-٨
مرشح سيتز



شكل ٣-١٠

ب - طريقة تشغيل مرشح
بركفلد

أ - مرشح بركفلد

ب - مرشح تشمبرلند Chamberland filter :

وهو عبارة عن أسطوانة مصنوعة من الخزف الغير مصقول مفتوحة من طرف واحد ومقفولة من الطرف الآخر . ولا استعماله في الترشيح توضع الأسطوانة في دورق باحكام (شكل ٣-٩) على أن يكون الطرف المفتوح للخارج الى أعلا ثم يعقم الدورق المركب عليه الأسطوانة معا قبل الاستعمال . وعند الاستعمال يصب السائل المراد ترشيحه داخل الأسطوانة مع توصيل الدورق بماكينة تفريغ . وقد أصبح استعمال هذا النوع نادرا الآن .

ج - مرشح بركفيلد Berkefeld filter :

عبارة عن أسطوانة من مواد دياتومية مع الأسبستوس وهي مفتوحة من طرف واحد ومغلقة من الطرف الآخر ، وتوضع عادة داخل دورق على أن تكون الفتحة داخل الدورق ، ويحيط بالأسطوانة غلاف زجاجي . ولتعقيم سائل ما باستخدام هذا المرشح يصب في الفراغ بين الأسطوانة والغلاف الزجاجي على أن يخلخل الهواء في الدورق فيمر السائل الى الدورق وتحجز الأحياء الدقيقة على سطح الأسطوانة (شكل ٣-١٠) .

ويجب تعقيم المرشح والدورق قبل الاستعمال .

وبعد الاستعمال يجب تنظيف المرشحات ، فالأسطوانات المصنوعة من السليكا يجب حرقها لدرجة الاحمرار وذلك لحرق المواد العضوية المدمصة على سطحها . أما مرشحات بركفيلد فيمكن تنظيفها بامرار ماء مضغوط في عكس اتجاه الترشيح . أما مرشح سيتز فيجب الاستغناء عن قرص الترشيح كل مرة واستخدام قرص جديد .

د - المرشحات البكتيرية الغشائية : Bacterial Membrane filters :

يوجد في الأسواق الآن أنواع عديدة من المرشحات الغشائية

أكثرها شهرة هي مرشحات ملليبور Millipore filters وهي أغشية مصنوعة من استرات السليلوز ، وثقوبها ذات أقطار متماثلة ويوجد عدة أنواع من الأغشية ثقوبها ذات سمات مختلفة تتراوح بين ٢-٤٥ ر ميكرو ميتر لفصل البكتيريا من معلقاتها . وتستخدم أيضا لفصل البكتيريا والخلايا الأخرى عن الفيروسات حيث تمر الفيروسات من خلال ثقوب هذه المرشحات وتحجز الخلايا على الغشاء . كما تستخدم هذه الأغشية أيضا لعد ميكروبات القولون في الماء أو لاختبار مدى جودة المواد الغذائية من الناحية الميكروبيولوجية . وقد أصبحت هذه الأغشية شائعة الاستعمال جدا نظرا لسهولة استعمالها وقلة نفقاتها .

٢- المرشحات الفيروسية الغشائية

Virus membrane filters

وهي أغشية بها ثقوب ذات حجم ثابت أصغر من ثقوب المرشحات البكتيرية ... وهذه الأغشية لا تسمح بمرور معظم الفيروسات ، كما تستخدم سلسلة من الأغشية لها ثقوب ذات أقطار مختلفة تتراوح بين ١٠ نانومتر الى ٣ ميكروميتر بهدف قياس حجم الفيروسات .

أساسيات تغذية الأحياء الدقيقة

Principles of microbial nutrition

لكي تنمو الكائنات الحية فانها يجب أن تسحب من البيئة التي تعيش فيها كل المواد اللازمة لبناء مكوناتها وكذلك المواد اللازمة لانتاج الطاقة ، وهذه المواد تسمى مغذيات أو عناصر مغذية — Nutrients والمستنباتات (البيئات الصناعية) التي تستخدم لتنمية الكائنات الحية الدقيقة يجب أن تحتوى على جميع العناصر المغذية اللازمة لنمو تلك الكائنات الحية الدقيقة .

ونظرا لاختلاف الكائنات الدقيقة من الناحية الفسيولوجية فان احتياجاتها تختلف اختلافا كبيرا . وقد اقترحت آلاف المستنباتات Media لتنمية الأحياء الدقيقة المختلفة . ووصف هذه المستنباتات لا يشمل الأسباب لوجود المكونات المختلفة في معظم الأحوال . ولكن تكوين أى مستنبت (بيئة صناعية) لتزريع الأحياء الدقيقة يجب أن يبنى على أسس علمية ، وهى أساسيات التغذية الواجب الإلمام بها قبل وصف المستنبات المختلفة للتزريع .

ان التركيب الكيميائى العام للخلايا ثابت بوجه عام فى كل عالم الأحياء موضحا احتياجات المواد الأساسية للنمو . فالماء يشكل ما بين ٨٠ — ٩٠ ٪ من الوزن الكلى للخلية ، ولذلك فهو عنصر أساسى من عناصر التغذية . المادة الجافة للخلية (جدول ٢-٣) تحتوى علاوة على الهيدروجين والأكسجين (وهما أيضا مكونات الماء) على الكربون والنيتروجين والفوسفور والكبريت . وهذه العناصر مرتبة تنازليا من حيث نسبتها العامة فى الكائنات الحية ، وهذه العناصر الستة تكون أكثر من ٩٥ ٪ من الوزن الجاف للخلية ، وهى تسمى المكونات الكبرى بالإضافة لهذه العناصر يوجد عناصر أخرى بكميات أصغر مثل البوتاسيوم والصوديوم والمغنسيوم والكالسيوم والحديد والمنجنيز والكوبالت والموليبدينم والزنك . والأربع عناصر الأخيرة الموضوع خطأ

تحتها نسبتها فى الخلية صغيرة جدا ويكون وجودها فى المستنباتات مطلوبا بنسبة آثار فقط ، أما العناصر الأخرى فى السلسلة الأخيرة المذكورة فنسبتها فى الخلية أكبر وان كانت أقل من المكونات الكبرى

جدول ٣-٢ : التركيب الأولي التقريبي لخلايا الأحياء الدقيقة .

العنصر	نسبته المئوية محسوبة على أساس الوزن الجاف
الكربون	٥٠
الأكسجين	٢٠
النيتروجين	١٤
الهيدروجين	٨
الفوسفور	٣
الكبريت	١
البوتاسيوم	١
الصوديوم	١
الكالسيوم	٠,٥
المغنسيوم	٠,٥
الكلورين	٠,٥
الحديد	٠,٢
كل العناصر الأخرى الباقية	٠,٣

ويجب اضافتها لمكونات المستتبت وتسمى المكونات الصغرى . أما العناصر المغذية التي توجد في صورة آثار فهي توجد عادة مع العناصر الكيميائية الأخرى كمواد ملوثة . وهذه النسبة من المواد الملوثة تكون عادة كافية لاحتياجات النمو ، لذلك فهي لا تضاف منفصلة عند اعداد معظم المستتبات . وتضاف المعادن المختلفة وكذلك الفوسفور في صورة املاح . أما احتياجات النيتروجين والكبريت والكربون فسيتم مناقشتها منفصلة فيما بعد ، والوظيفة التي يؤديها كل عنصر موضحة في جدول (٣-٣) .

علاوة على العناصر المغذية السابقة الذكر تحتاج بعض المجموعات الحية الى احتياجات معدنية أخرى ، فالدياتومات Diatoms وبعض الطحالب تكون جدار خلوي غني في السليكا ، ولذلك فهما يحتاجان الى السيلكون Silicon في صورة أملاح سليكات ، ورغم أن احتياجات الصوديوم لا يمكن توضيحها بسهولة لمعظم الأحياء الدقيقة ، إلا أنها مطلوبة بتركيز عالي نسبيا لبعض البكتيريا البحرية وبعض البكتيريا الخضراء المزرقه وبعض البكتيريا المثلثة للضوء ، ولا يمكن احلال الصوديوم في تلك الحالات بأي عناصر أخرى أحادية التكافؤ Monovalent

احتياجات الكربون

ان الأحياء ذات القدرة على التمثيل الضوئي والبكتيريا التي تحصل على الطاقة من أكسدة المركبات غير العضوية تحصل على احتياجاتها من الكربون في صورته المؤكسدة CO_2 .

وتحويل ثاني أكسيد الكربون CO_2 الى مواد خلوية تشمل عمليات اختزال . وكما هو معروف أن عمليات الاختزال يصحبها دائما امتصاص طاقة بينما تؤدي عمليات الأكسدة الى انتاج طاقة . لذلك فان تحويل ثاني أكسيد الكربون الى مواد خلوية يلزمه امتصاص طاقة ، ويحصل الكائن الحي على هذه الطاقة اما من الضوء أو من أكسدة المركبات غير العضوية

جدول ٣-٣ : الوظائف الفسيولوجية العامة للعناصر الأساسية المختلفة الداخلة في تركيب الخلايا الحية .

العنصر	الوظائف الفسيولوجية
الهيدروجين	أحد مكونات الماء الخلوي والمادة العضوية في الخلية .
الأكسجين	أحد مكونات الماء الخلوي والمادة العضوية في الخلية ، ويعمل كمستقبل للإلكترونات في تنفس الأحياء الهوائية .
الكربون النيتروجين	أحد مكونات المادة العضوية في الخلية . أحد مكونات البروتين والأحماض النووية ومرافقات الانزيمات .
الكبريت	أحد مكونات البروتينات (كأحماض الأمينية سيستين وميثونين) وبعض مرافقات الانزيمات
الفوسفور	أحد مكونات الأحماض النووية والفوسفوليبيدات وبعض مرافقات الانزيمات .
البوتاسيوم	كاتيون غير عضوي أساسي في الخلية ، وهو عامل مساعد لبعض الانزيمات .
المغنسيوم	كاتيون غير عضوي هام في الخلية — عامل مساعد لبعض الانزيمات أحد مكونات الكلوروفيل عامل مساعد لبعض الانزيمات ، وأحيانا يحل محل المغنسيوم في التفاعلات الانزيمية .
الكالسيوم	كاتيون هام في الخلية . عامل مساعد لبعض الانزيمات مثل الانزيمات المحللة للبروتين .
الحديد	أحد مكونات السيوكروم وبروتينات الهيم — وهو يساعد بعض التفاعلات الانزيمية .
الكوبالت	أحد مكونات فيتامين ب ١٢ وبعض مرافقات الانزيمات .
النحاس والزنك والموليبدينوم	مكونات معدنية لبعض الانزيمات الخاصة .

أما باقى الأحياء فتحصل على الكربون من المركبات العضوية .
وحيث أن معظم المواد العضوية لها نفس مستوى الأكسدة والاختزال
الذى للمواد الخلوية ، لذلك فلا حاجة لهذه الخلايا لأجراء خطوة
اختزال أولية كما هو الحال فى الكائنات الممثلة للضوء . كما أن هذه
الخلايا — عادة — تستمد الطاقة اللازمة لنموها من المادة العضوية
المستخدمة كمصدر للكربون . لذلك فإن نسبة كبيرة من كربون المادة
العضوية يدخل فى تفاعلات انتاج الطاقة منتهيا الى الخروج ثانية من
الخلية فى صورة ثانى أكسيد الكربون (وهو الناتج الأساسى لعمليات
الأكسدة أثناء التنفس لانتاج الطاقة) أو فى صورة مخلوط من ثانى
أكسيد الكربون والمركبات العضوية (وهذه هى النواتج النهائية
لعمليات التخمر لانتاج الطاقة) .

ولذلك فإن المركبات العضوية عادة ما تخدم هدفين فى
التغذية ، فالمركبات العضوية تعمل كمصدر للكربون كمصدر للطاقة .

وعدد من الأحياء الدقيقة يمكنها استعمال مركب عضوى واحد
كمصدر وحيد للكربون والطاقة بينما يحتاج عدد كبير من الأحياء الدقيقة
الى أكثر من مركب عضوى واحد ، وقد تحتاج كثير من الأحياء الدقيقة
لعدد كبير من المركبات العضوية كعناصر غذائية . وهذه المركبات
العضوية الإضافية تلعب عادة دورا فى عمليات بناء مكونات الخلية ولا
تستخدم كمصدر للطاقة ، ويرجع احتياج الخلية لهذه المواد الإضافية
لعدم قدرة تلك الخلية على بنائها وتسمى مثل هذه المواد باسم عوامل
النمو Growth factors .

وتختلف قدرة الأحياء الدقيقة على استعمال المركبات العضوية
المختلفة ، فبعضها يمكنها الاستفادة من مصادر عضوية كربونية
عديدة قد تصل الى ١٠٠ مركب كمصدر للكربون والطاقة كما فى بعض
أفراد بكتيريا سودوموناس Pseudomonas لذلك فهذه البكتيريا
شائعة فى أماكن كثيرة فى الطبيعة .

وبعض البكتيريا لا يمكنها الاستفادة الا من مركب عضوى كربونى

واحد أو اثنين مثل البكتيريا المحللة للسليولوز أو البكتيريا المؤكسدة للميثان (كمصدر للكربون والطاقة) . ومثل هذه الكائنات لا توجد إلا في الأماكن التي توجد فيها هذه العناصر المغذية اللازمة لنموها .

احتياجات النيتروجين والكبريت

يوجد النيتروجين والكبريت في المواد العضوية الخلوية في صورة مجموعة الأمين ($-NH_2$) أو مجموعة السلفدريـل ($-SH$) المختزلتان . وتحصل معظم الأحياء الدقيقة المثلة للضوء على هذين العنصرين في الصورة المؤكسدة في صورة نترات Nitrate (NO_3^-) أو كبريتات Sulfate (SO_4^{2-}) لذلك يلزم اجتياز هذه المركبات (النترات أو الكبريتات) خطوة اختزال أولية في الخلية قبل تحويلها الى مواد عضوية . ويستطيع عدد من الأحياء الدقيقة القيام بهذه الخطوة ، إلا أن البعض من الأحياء الدقيقة لا يمكنه القيام بهذه الخطوة لوحدة أو كلا الاثنين من الأملاح (النترات ، أو الكبريتات) وفي مثل هذه الحالة يجب استعمال أملاح تحتوي على النيتروجين أو الكبريت أو كلاهما في صورة مختزلة . والاحتياج للنيتروجين في الصورة المختزلة شائع نوعا ما ويستخدم له أملاح الأمونيوم . أما الاحتياج للكبريت في الصورة المختزلة فنادر ويستخدم له أملاح السلفيد (الكبريتيد Sulfide) أو المواد العضوية التي تحتوي على كبريت مختزل مثل الحمض الأميني سيستين .

كما أن كلا من احتياجات النيتروجين والكبريت يمكن تغطيتها عن طريق استخدام المغذيات العضوية التي تحتوي هذه المركبات في الصورة المختزلة مثل الأحماض الأمينية أو نواتج تحليل البروتين مثل الببتون Peptones . والببتون في هذه الحالة يغطي احتياجات الخلية من الكربون والهيدروجين والأكسجين والنيتروجين والكبريت علاوة على كونه مصدرا للطاقة .

كما أن بعض البكتيريا يمكنها استعمال أكثر صور النيتروجين.

شيوعا في الطبيعة وهي النيتروجين الغازى (N_2) وتسمى عمليات تحويل النيتروجين الغازى الى مركبات خلوية باسم تثبيت النيتروجين او التثبيت الأزوتى Nitrogen fixation وتشمل خطوة اختزال أولية لتحويل N_2 الى أمونيا .

عوامل النمو Growth factors :

تحتاج بعض الأحياء الدقيقة الى مركبات عضوية (لا تقدر على بنائها بنفسها) تستخدمها لبناء مكونات الخلية - وهذه المواد العضوية يجب اضافتها في المستنبات أو وجودها في بيئتها الطبيعية حتى يمكن لتلك الأحياء الدقيقة النمو . وهذه المواد تسمى عوامل النمو Growth factors .

ويمكن تقسيم عوامل النمو الى ثلاث أقسام وفقا لتركيبها ووظيفتها الحيوية :

- * الأحماض الأمينية تحتاجها الخلية كمكونات للبروتين .
- * البيورينات والبريميدينات تحتاجها الخلية كمكونات للأحماض النووية .
- * الفيتامينات وهي مجموعة مواد عضوية تعمل كمرافقات لانزيمات معينة ٠٠٠ أو كمراكز للنشاط لانزيمات أخرى (جدول ٣-٤) .

وحيث أن عوامل النمو تغطي احتياجات خاصة لبناء مكونات الخلية ، فهي عادة تلزم الخلية بكميات صغيرة مقارنة باحتياجات الخلية من مصدر الكربون الذى يمد الخلية بجميع الكربون الخلوى . فمثلا البروتين مكون من حوالى ٢٠ حمض أمينى مختلف ، فاذا كانت الخلية غير قادرة على بناء حمض أمينى واحد فيكون واضحا أن احتياج الخلية من الحمض الأمينى هذا أقل كثيرا من احتياج الخلية للبروتين أو احتياج الخلية لمصدر الكربون ، كما أن احتياج الخلية من الفيتامينات يكون أيضا أقل حيث تستعمل الفيتامينات كمرافقات لانزيمات محدودة معينة ،

جدول ٣-٤ : العلاقة بين بعض الفيتامينات القابلة
للذوبان في الماء وبعض مرافقات الانزيمات .

الفيتامين	مرافق الانزيم	التفاعل الانزيمي الذي يشمل مرافق الانزيم
حمض النيكوتينيك (النياسين)	بيريدين نيوكليوتيد (NAD, NADH)	نزع الهيدروجين Dehydrogenation
الريبوفلافين (فيتامين ب ٢)	فلافين نيوكليوتيد (FAD, FMN)	نزع الهيدروجين ونقل أزواج الالكترونات
الثيامين (فيتامين ب ١)	ثيامين بيروفسفات (Co-carboxylase)	نزع مجموعة الكربوكسيل وبعض تفاعلات نقل المجموعات .
بيريدوكسيل (فيتامين ب ٦)	بيريدوكسال فوسفات	تمثيل الأحماض الأمينية - نقل مجموعة الأمين أو نزعها أو نزع مجموعة الكربوكسيل .
حمض البانتوثنيك	مرافق الانزيم (Coenzyme A)	أكسدة الأحماض الكيتونية . تمثيل الأحماض الدهنية .
حمض الفوليك	حمض تترا هيدروفوليك	نقل مجموعة تحتوي على ذرة كربون واحدة .
بيوتين	المجموعة النشطة لأنزيمات البيوتين	تثبيت ثنائي أكسيد الكربون . ونقل مجموعة الكربوكسيل .
كوباميد (فيتامين ب ١٢)	مرافقات أنزيمات كوباميد Cobamide coenzyme	تفاعلات إعادة ترتيب الجزيئات .

والجدول (٣-٤) يوضح أهمية بعض الفيتامينات لبعض الانزيمات .

دور الأكسجين في التغذية

الأكسجين هو أحد مكونات الماء الخلوي وكثير من المواد العضوية في الخلية . لذلك يجب امداد الكائنات الدقيقة بكميات كبيرة منه كأحد المكونات الكبرى . وتأخذ الأحياء الدقيقة كثير من احتياجاتها من الأكسجين في صورة ماء أو مواد عضوية ، ولكن معظم الأحياء الدقيقة تحتاج للأكسجين الغازي (O_2) وهذه الأحياء تعتمد في معيشتها على التنفس الهوائي للحصول على احتياجاتها من الطاقة حيث يعمل الأكسجين كمستقبل نهائي لزوج الالكترونات في نهاية سلسلة نقل الالكترونات Electron transport system وتسمى هذه الكائنات الحية باسم الأحياء الدقيقة الهوائية الحتمية Obligate aerobic .

وعلى العكس من ذلك فان هناك مجموعة من الأحياء الدقيقة لا يعتبر الأكسجين الغازي عنصرا غذائيا لها ، بل انه يعتبر قاتلا أو مشبها للنمو لبعضها ، وهي تلك الأحياء التي يطلق عليها الأحياء الدقيقة اللاهوائية الاجبارية (الحتمية) Obligate anaerobic .

وهناك مجموعة ثالثة من الأحياء الدقيقة تسمى باللاهوائية الاختيارية Facultative anaerobic وهي تستطيع النمو في وجود أو غياب الأكسجين الغازي (O_2) وهذه المجموعة تنقسم من ناحية التمثيل الغذائي الى قسمين :

القسم الأول : تنمو لا هوائيا باستمرار ولكنها لا تتأثر بوجود الأكسجين مثل بكتيريا Lactic acid Bacteria حمض اللاكتيك .

القسم الثاني : تنمو هوائيا في وجود الأكسجين وتنمو لا هوائيا (بالتخمير) في غياب الأكسجين مثل كثير من الخمائر Yeasts وبكتيريا القولون E. coli .

والمجموعة الرابعة من الأحياء الدقيقة يكون نموها أفضل بما يمكن في وجود كميات صغيرة من الأكسجين (بضغط جزئي يقل عن الضغط الجزئي للأكسجين في الهواء الجوى) . ورغم أن الأكسجين اجبارى لنموها فهي لا تستطيع النمو في غياب الأكسجين كلية وتسمى هذه المجموعة بميكروبات تحتاج لكميات صغيرة من الهواء 'Microaerophilic ويؤدي وجود تركيزات عالية من الأكسجين الى ائتلاف بعض انزيمات هذه المجموعة من الأحياء الدقيقة .

أقسام الأحياء الدقيقة وفقاً لاحتياجاتها من الكربون والطاقة

قسم علماء الأحياء Biologists جميع الكائنات الحية — من زمن طويل — الى :

١- الكائنات الحية ذاتية التغذية : Autotrophs :

وهذه يمثلها النباتات وهي تلك الكائنات التي تتغذى بصورة كاملة على أغذية غير عضوية وتعتمد على ثانى أكسيد الكربون كمصدر للكربون ولا تحتاج لآى مواد عضوية .

٢- الكائنات الحية غير ذاتية. التغذية: Hetrotrophs :

وهذه يمثلها الحيوانات وهي تحتاج الى مركبات عضوية للتغذية عليها .

وكذلك . . . فقد قسم العلماء كلا من هذين القسمين الى قسمين آخرين لتكوين أربعة أقسام رئيسية وفقا لمصادر الطاقة والكربون كالآتى :

(١) الأحياء ذاتية التغذية ضوئيا (المثلة للطاقة الضوئية)

Photoautotrophic organism

وهي تلك الكائنات التي تعتمد على ثانى أكسيد الكربون CO_2 كمصدر للكربون وعلى الضوء كمصدر للطاقة .

(٢) الأحياء ذاتية التغذية كيميائيا (المثلة للطاقة الكيميائية) Chemoautotrophic organisms .

وهي تلك الكائنات التي تعتمد على ثاني أكسيد الكربون CO_2 كمصدر للكربون وعلى الطاقة الناتجة من التفاعلات الكيميائية (مثل تفاعلات الأكسدة) كمصدر للطاقة . ومن أمثلة هذه الكائنات تلك التي تؤكسد المركبات التالية للكبريت S وكبريتور الأيدروجين H_2S والأيدروجين H_2 وأملاح النيتريت NO_2^- وأملاح الأمونيا NH_3^- والمثيوسلفات $S_2O_3^{2-}$ وأملاح الحديدوز كمصدر للطاقة . وأهمية هذه المجموعة تتبع من أنها تنمو في الظلام على مستنبت (بيئة صناعية) خالية من المواد العضوية ومكونة فقط من أملاح معدنية ، وتسمى هذه الأحياء أحيانا باسم Chemolithotrophic .

(٣) الأحياء غير ذاتية التغذية المثلة للطاقة الضوئية :

Photoheterotrophic organisms

وهي تلك الأحياء التي تعتمد على المركبات العضوية كمصدر للكربون وتعتمد على الضوء كمصدر للطاقة ، وهي عادة تتغذى على مواد عضوية في الظلام وتقوم بتثبيت ثاني أكسيد الكربون في الضوء .

(٤) الأحياء غير ذاتية التغذية المثلة للطاقة الكيميائية :

Chemoheterotrophic organisms

وهي تلك الأحياء التي تعتمد على المركبات العضوية كمصدر للكربون ، وتعتمد على الطاقة الناتجة من التفاعلات الكيميائية كمصدر للطاقة . وغالبا ما تعتمد هذه الكائنات على المركبات العضوية كمصدر للكربون والطاقة معا . وتشمل هذه المجموعة عددا كبيرا من البكتيريا ، وكل الفطريات والبروتوزوا والميتازوا .

ويمكن تقسيم هذا القسم الأخير من الأحياء الدقيقة الى قسمين بناء على الصورة الفيزيائية (الطبيعية) للعناصر الغذائية عند دخولها الخلية :

أ- الكائنات التي تتناول غذائها بالانتشار خلال الغشاء

الخلوى : Osmotrophs :

وتشمل معظم البكتيريا والفطريات . وتتناول غذائها في صورة ذائبة بالانتشار خلال الغشاء الخلوى .

ب- الكائنات التي تتناول غذائها بالابتلاع Phagotrophs :

وتشمل معظم البروتوزوا . وهى تتناول غذائها في صورة صلبة بالابتلاع Phagocytosis .

وقد يضاف أحيانا التعبير (اجبارى Obligate) لآى قسم من الأقسام الأربعة السابقة للتعبير عن حتمية التغذية بالطريقة المذكورة فى كل قسم ، فمثلا الكائنات الحية من نوع-Obligate Pho- لا تنمو الا بوجود الضوء كمصدر للطاقة وثانى أكسيد الكربون كمصدر للكربون . وقد يستخدم التعبير (اختياري Facultative) للتعبير عن عدم حتمية التغذية بالطريقة المذكورة وامكانية الانتقال الى نوع آخر من التغذية .

وبالاضافة للتعريفات السابقة فانه يلزم هنا الاشارة الى تعبيرين آخرين وهما الاستغناء التام عن عوامل النمو Prototrophy والاحتياج لعوامل النمو Auxotrophy .

١- الأحياء الدقيقة غير المحتاجة لعوامل النمو Prototroph :

تعنى أن الكائن الحى الدقيق يستطيع بناء جميع مكونات خلите من مصدر الكربون الرئيسى دون الاحتياج لآى عوامل نمو .

٢- الأحياء الدقيقة المحتاجة لعوامل النمو Auxotroph:

تعنى أن الكائن الحي الدقيق يحتاج علاوة على المصدر الرئيسى للكربون الى واحد أو أكثر من عوامل النمو المختلفة من المواد العضوية . وقد يستخدم أحد التعبيرين السابقين على أي من الأحياء التابعة لأي من الأقسام الأربعة السابقة .

فيمكن تمثيل الـ Auxotrophy بالاحتياج المطلق لأحد الفيتامينات بواسطة أحد الأحياء الدقيقة من البكتيريا ذاتية التغذية ضوئيا أو غير ذاتية التغذية كيميائيا .

تكوين مستنبات الزرع

The construction of culture media

لتكوين مستنبت لتزريع أى نوع من الأحياء فان الهدف الأساسى يكون الحصول على مخلوط متزن من العناصر الغذائية المختلفة لتسمح بنمو جيد . وربما يبدو للوهلة الأولى أن عمل مستنبت غنى بالعناصر المغذية الى أقصى ما يمكن (مما يجعل العناصر الغذائية أكثر من اللازم) سيؤدى الى الحصول على نمو غزير فى وقت زمنى قصير ولكن ذلك ليس صحيحا . حيث أن العناصر المغذية عند زيادة تركيزها فى المستنبت تصبح مثبطة للنمو أو حتى أحيانا سامة ، وهذا صحيح فى حالة استخدام الأحماض العضوية والأملاح والأحماض الدهنية والسكريات فى المستنبت ، فعند زيادة تركيزها عن اللازم يكون لها تأثير مثبط أو قاتل . كما أن وجود المغذيات بتركيزات عالية حتى وان أدت الى بعض النمو فان مخلفات النمو كالكحولات والأحماض العضوية وغيرها تكون أيضا مركزة وتؤدى الى تثبيط النمو أو إيقافه بسرعة . وحيث أن هدف تنمية الأحياء الدقيقة لا بد وأن يكون متمشيا مع كون هذا النمو نموا طبيعيا صحيحا ، فانه من الحكمة دائما أن يحدد النمو بعمل المغذيات فى البيئة الصناعية محدودة . ويوضح الجدول (٣-٥) تركيب عدد من المستنبات (البيئات الصناعية) المتزايدة فى التعقيد .

جدول ٣-٥ : تركيب عدد من المستنبات (البيئات
الصناعية) المتزايدة التعقيد .

مكونات اضافية				مكونات عامة لكل المستنبات الأربعة .
مستنبات ٤	مستنبات ٣	مستنبات ٢	مستنبات ١	
جلوكوز ٥ جم مستخلص خميرة ٥ جم	جلوكوز ٥ جم كلوريد أمونيوم ١ جم حمض نيكوتينيك ٠ ار ملليجم	جلوكوز ٥ جم كلوريد أمونيوم ١ جم	كلوريد أمونيوم ١ جم	ماء ١ لتر فوسفات بوتاسيوم ثنائية اجم كبريتات مغنيسيوم ٢٠٠ ملليجم كبريتات الحديدوز ٠ كلوريد الكالسيوم ١٠ " معادن في صورة آثار منجنيز - موليبدنم - كوبالت زنك كألاح معدنية ٠ ٢ ر - ٥ ر ملليجم

تقسيم مستنبات الزرع :

١- مستنبات محددة التركيب الكيميائي Chemically defined media

تتكون من مواد ذات تركيب كيميائي محدد وهي مكونة من أساس أو قاعدة من أملاح معدنية Mineral base لتزويد أى كائن حي دقيق بالعناصر المغذية المعدنية ، ويضاف لهذا الأساس Base اذا كان مرغوبا فى ذلك - مصدر للكربون والطاقة ومصدر للنيتروجين وأى عوامل نمو . وهذه المواد الاضافية - بالطبع - تختلف على حسب الخواص الغذائية للكائن الحى المرغوب تربيته .

ونظرا لأن التركيب الكيميائي لكل مكونات المستنبات تكون معروفة ومحددة فانه يمكن تكرار تجهيز مثل تلك المستنبات بنفس الدقة فى كل مرة من مرات التحضير .

ولعل ذلك من أهم مميزات المستنبات محددة التركيب الكيميائي مما أدى الى استعمالها فى دراسة المتطلبات الغذائية لأنواع البكتيريا المختلفة .

٢- مستنبات غير محددة التركيب الكيميائي

Chemically nondefined medium

وهي مستنبات تتكون من مواد غير محددة التركيب مثل مستخلص اللحم Beef والدم والبيتون Peptone ومستخلص الخميرة Yeast extract وكل هذه المواد ليس لها تركيب دقيق محدد . ويختلف تركيبها باختلاف المادة الطبيعية المستعملة لانتاجها . لذلك يكون من الصعب تكرار تحضير مثل هذه المستنبات بنفس التركيب بنفس الدقة فى كل مرة من مرات التحضير .

هذا . . . ويمكن أيضا تقسيم المستنبات على حسب الغرض منها الى :

١- المستنبات الانتخائية : Selective media

كما يبدو واضحا الآن أنه لا يوجد مستنبت واحد أو مجموعة ظروف واحدة تصلح لنمو كل الأحياء الدقيقة الموجودة في الطبيعة ، لذلك فمن المعقول أن نذكر بأن كل مستنبت هو مستنبت اختياري - إلى حد ما - أي يسمح بنمو كائنات معينة ، ولا يسمح بنمو كائنات أخرى . فإذا لقم أي مستنبت بمخلوط من الأحياء الدقيقة فإن الأحياء التي تناسبها ظروف المستنبت فقط هي التي تنمو ، وأما الأحياء الأخرى فلا تنمو .

لذلك فانه إذا أريد عزل كائن دقيق معين من الطبيعة فإن معرفة خواصه الغذائية تساعد كثيرا في عزله حتى وإن كانت نسبة وجوده صغيرة ، وذلك بأعداد مستنبت مدعم بالمغذيات أو ظروف خاصة Enrichment medium لهذا الكائن الحي الدقيق ويساعد على نموه هو دون الأحياء الأخرى ، أو بالعزل المباشر على إحدى المستنبات التي تسمح بنمو عدد كبير ثم العزل منها كما سبق أن أشرنا بالأطباق المصبوبة أو الأطباق المخطوطة ، والعزل بالأطباق المخطوطة أو المصبوبة قد لا ينجح في عزل بعض الكائنات التي تكون نسبة وجودها صغيرة . أما طريقة الدعم بمغذيات أو بظروف خاصة Enrichment فتكون أكثر نجاحا في مثل هذه الحالة . فمثلا إذا أريد عزل كائن دقيق هوائي من النوع ذاتي التغذية كيميائيا Chemoautotroph وهو كائن يعتمد على CO_2 كمصدر للكربون ولا يمثل الضوء ويحصل على الطاقة من التفاعلات الكيميائية . في مثل هذه الحالة يمكن إعداد مستنبت مكون من قاعدة من الأملاح المعدنية Mineral base دون إضافة أي مركبات عضوية ثم تحضينه مع مصدر الميكروبات في مكان مظلم ، وهكذا . . .

٢- مستنبات تفريقية Differential media

وهي مستنبات يضاف إليها مواد كيميائية أو تعرض لظروف طبيعية تسمح بالتمييز بين نمو المجاميع المختلفة من البكتيريا ، فمثلا

تستخدم بيئة آجار الدم للتفريق بين مجاميع البكتيريا التي تحلل الدم Hemolytic فيظهر حول البكتيريا المحللة للدم حالة رائية في حين أن الهالة الرائية لا تظهر في حالة البكتيريا التي لا تحلل الدم ، ويمكن بذلك التفريق بين البكتيريا المحللة للدم Hemolytic وغير المحللة له Non hemolytic.

كما يستخدم مستببت آجار الايوسين - أزرق الميثلين للتمييز بين بكتيريا القولون التي تظهر في مستعمرات قطرها يتراوح بين ٢-٣ مليمتير وذات مركز أسود وبريق معدني مخضر Greenish metallic sheen وذلك في الاختبار التأكيدى للكشف عن بكتيريا القولون .

٣- مستببتات التقدير الحيوى Biological assay media

وهى نوع من المستببتات محددة التركيب الكيميائى تستعمل لأغراض التقدير الكمي الحيوى لنوع معين من أنواع الفيتامينات أو الأحماض الأمينية أو غيرها بطريقة حيوية . وينمى عليها سلالات من البكتيريا تحتاج هذه الفيتامينات أو غيرها من المواد اللازمة للنمو ، وتقاس كمية الفيتامين بكمية النمو البكتيرى .

٤- مستببتات اظهار وزرع البكتيريا

Media for enumeration of Bacteria

وهى مستببتات معينة محددة أو غير محددة التركيب تستخدم لتقدير عدد البكتيريا في عينات مختلفة كالماء أو اللبن أو الأغذية المختلفة . ويوجد أنواع عديدة منها في الأسواق .

٥- مستببتات التعرف على خواص الأحياء الدقيقة

Media for characterization of microorganisms

وهى مستببتات يمكن عن طريقها تحديد خواص الأحياء الدقيقة من حيث قدرتها على النمو على تركيزات عالية من السكر أو الملح أو من

حيث قدرتها على استعمال مواد معينة كمصدر للكربون أو النيتروجين أو من حيث قدرتها على النمو في وجود صبغات أو مضادات حيوية معينة كما يمكن تقسيم المستنبات المستخدمة في الزرع على أساس قوامها الى :

١- مستنباتات صلبة Solid media

مثل شرائح البطاطس والجزر .

٢- مستنباتات صلبة قابلة للاسالة Media with solidifying agents

مثل المستنبات التي يدخل في تركيبها الآجار والمجيلاتين .

٣- مستنباتات نصف صلبة Semisolid media

وهي تحتوى على كميات صغيرة من الآجار لا تزيد عن ربع الكمية التي تضاف للمستنبات الصلبة القابلة للاسالة .

٤- مستنباتات سائلة Liquid media

مثل مستنبت اللبن أو المرق المغذى .

هذا ويضاف الى المستنبات السائلة بعض المواد لتساعد على تحويلها الى الحالة الصلبة عند تبريدها وتسمى هذه المواد بالمواد التصليبية Solidifying agents وعند اضافة المواد التصليبية الى المستنبت السائل فانه يتحول الى مستنبت صلب قابل للاسالة والمستنبت الصلب يهيئ سطح مستوى يصلح لزراعة الأحياء الدقيقة وتنميتها عليه في شكل مستعمرات فردية يسهل عزلها في حالة نقية .

المواد النضيلية الشائعة الاستعمال :

١- الآجار آجار : Agar Agar :

هو مادة كربوهيدراتية تستخلص من بعض الطحالب البحرية الحمراء وتنمو بوفرة على سواحل اليابان . والآجار آجار ذو درجة عالية من الثبات ، ويمكن تنمية أنواع كثيرة جدا من الكائنات الدقيقة عليه دون خوف من تحلله ، ولكن وجد أن عددا محدودا من أنواع الأحياء الدقيقة تستطيع تحليل الآجار مائيا . ومن مزايا الآجار أنه لا يتأثر بدرجات حرارة التعقيم في المعقم (الأتوكلاف) إذا كانت الظروف متعادلة أو حتى خفيفة الحموضة ، ولكن تعريض الآجار الموجود في - ظروف - شديدة الحموضة - لدرجة حرارة التعقيم يؤدي إلى تحلله مائيا ، وعدم تصلب المستنبت بعد التبريد . لذلك عند تحضير المستنبتات ذات درجة الـ pH المنخفضة والمستخدمة لعزل الخمائر وبعض الفطريات من مزارع مختلطة بالبكتيريا فإنه يفضل تعقيم المستنبت مع الآجار بمفرده قبل إضافة الحمض . ثم يضاف الحمض بعد التعقيم وقبل تجمد المستنبت .

وعادة يضاف الآجار بنسبة ١.٥ - ٢ ٪ وعند هذا التركيز لا يسيل الآجار المتصلب قبل ٩٨°م والآجار السائل لا يتجمد حتى تصل درجة الحرارة إلى ٤٥°م وإذا تجمد لا يسيل ثانية قبل ٩٨°م . لذلك بعد تجمده يمكن تحضين الآجار على درجة حرارة مرتفعة دون الخوف من انصهاره .

٢- الجيلاتين : Gelatin :

استعمل الجيلاتين لتصلب مستنبتات الزرع قبل الآجار بزمن طويل ، ولكن الآن قل استعماله نتيجة لانصهاره على درجات حرارة منخفضة مقارنة بالآجار كما أنه يتحلل نتيجة فعل الانزيمات البروتينية التي تنتجها العديد من الكائنات الدقيقة ، ويشيع استعمال الجيلاتين فقط لاختبار قدرة الأحياء الدقيقة على إنتاج الانزيمات المحللة للبروتينات فقط . فالجيلاتين عبارة عن مادة بروتينية تحضر بمعاملة عظام الحيوانات

بحمض الهيدروكلوريك لاذابة كربونات وفوسفات الكالسيوم والحصول على مادة الكولاجين Collagen التى تتحول الى جيلاتين بمعاملتها بالماء المغلى ، وعندما يبرد المخلوط الساخن فانه يكون مادة هلامية تقطع وتجفف بالهواء البارد .

والجلياتين يذوب فى الماء المغلى ولا يذوب فى الماء البارد ويضاف الى مستنبتات الزرع بنسبة ١٠-١٢ % . واذا ارتفعت الحرارة الى ٢٥-٣٠°م فانه ينصهر . ولكن اذا برد المخلوط مرة ثانية فانه يتصلب ، ولكن اذا رفعت درجة الحرارة أكثر من ١٠٠°م فانه ينصهر ولا يتصلب ثانية حتى لو خفضت درجة الحرارة . والجلياتين يتحلل مائيا فى الوسط القلوى أو الحمضى على درجة الحرارة العالية .

٣- السليكا Silica :

وهى مادة تصلب غير قابلة للاسالة وتحضر بتحضير محلول من سليكات الصوديوم Sodium silicate (الزجاج المائى Water glass) بواسطة حمض الهيدروكلوريك أو حمض الفوسفوريك فيتكون حمض السليسيك Silicic acid الذى يتخذ القوام الهلامى Gel عند درجة حرارة الغرفة ، وعندما تتصلب هذه المادة الهلامية فانها لا تسيّل مرة أخرى .

وتصب هذه المادة فى أطباق بترى ، وبعد أن تتصلب يغسل بالماء لمدة كافية لازالة أملاح الصوديوم الزائدة . ثم يعقم سطح السليكا جل باللهب Flaming . ثم تضاف بعد ذلك المـواد الغذائية المعقمة فى صورة محاليل مركزة ، وهذه تنتشر بسرعة ، والسليكا جل ليست مادة مغذية ، لذلك فهى تستعمل فى تحضير البيئات اللازمة لتنمية الأحياء الدقيقة ذاتية التغذية وذلك لمنع نمو الكائنات الدقيقة غير ذاتية التغذية والتى قد تنمو معها عند استعمال مواد عضوية وكذلك لتجنب التأثير المثبط للمواد التصليبية العضوية كالأجار والجلياتين والتى يؤثر وجودها على نمو بعض الأحياء ذاتية التغذية .

قياس وضبط درجة الأس الأيدروجيني pH والتحكم فيها :

ان درجة الأس الأيدروجيني والمتعارف عليها pH تمثل طريقة مناسبة للتعبير عن تركيز أيون الأيدروجين (H^+) في المحاليل المائية.

وتعرف الـ pH على أنها اللوغاريتم السالب لتركيز أيون الأيدروجين مقدرا بالمول / لتر

$$pH = \text{Log} \frac{1}{(H^+)}$$

وعلى ذلك يمكن حساب الأس الأيدروجيني pH لمحلول مائى لحمض قوى (كامل التأين) تركيزه (ار . عيارى) فيكون تركيز أيون الأيدروجين في المحلول مساويا (ار . عيارى) أيضا . وبالتالى يكون تطبيق المعادلة السابقة كما يلى :

$$pH = \text{Log} \frac{1}{(H^+)} = \text{Log} \frac{1}{0.1} = \text{Log} 10 = 1$$

ومقياس الـ pH العددى يتراوح بين صفر الى ١٤ كما فى جدول (٦-٣) ويجب ضبط درجة الأس الأيدروجيني pH لاي مستنبت (بيئة صناعية) لكى تكون مناسبة لنمو الأحياء الدقيقة التى ستنمو على هذا المستنبت وليس هذا فحسب ، فالمستنبت يجب أن يقاوم التغير فى درجة pH عند نمو الأحياء الدقيقة عليه .

فبالرغم من أن مستنبت معين قد يكون مناسباً لبدء النمو الا أنه سرعان ما يتوقف نمو الكائنات الدقيقة عليه نتيجة للتغيرات الكيميائية التى تحدث فى المستنبت نتيجة لنمو الكائنات الدقيقة ونتاجها لمواد تعمل على تغيير درجة الـ pH للمستنبت وقد تتغير درجة الـ pH فى المستنبت بسبب انتاج أحماض عضوية من السكريات أو استهلاك أحماض موجودة أساسا فى المستنبت أو تكسير البروتينات ونتاج أمونيا الى غير ذلك من التغيرات التى تحدثها الأحياء الدقيقة فى المستنبتات .

جدول ٦-٣ : تدرج درجة الأس الأيدروجيني مع
ايضاح الحموضة والقلوية .

تركيز أيون الهيدروكسيل
درجة الأس الأيدروجيني pH تركيز أيون الأيدروجين

الحموضة

١٤-١٠	صفر	١٠ = ١ ر
١٣-١٠	١	١٠ ر
١٢-١٠	٢	٠.١ ر
١١-١٠	٣	٠.٠٠١ ر
١٠-١٠	٤	٠.٠٠٠١ ر
٩-١٠	٥	٠.٠٠٠٠١ ر
٨-١٠	٦	٠.٠٠٠٠٠١ ر

غير قلوي

٠.٠٠٠٠٠٠٠١ نقطة تعادل (ماء نقي) ٧ نقطة تعادل ١٠ ر
٠.٠٠٠٠٠٠٠١ (ماء نقي)

٠.٠٠٠٠٠٠٠١	٦-١٠	٨	٨ ر
٠.٠٠٠٠٠٠١	٥-١٠	٩	٩ ر
٠.٠٠٠٠٠١	٤-١٠	١٠	١٠ ر
٠.٠٠٠٠١	٣-١٠	١١	١١ ر
٠.٠٠٠١	٢-١٠	١٢	١٢ ر
٠.٠٠٠١	١-١٠	١٣	١٣ ر
٠.٠٠٠٠٠٠٠١	٠-١٠	١٤	١٤ ر

غير حمضي

القلوية

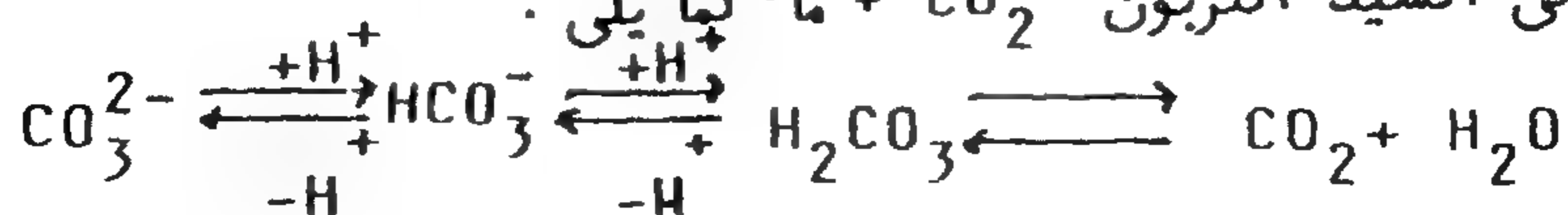
لمنع ذلك التغير في درجة الأس الأيدروجيني pH تستخدم محاليل مائية منظمة Buffers تتكون من خليط من أحماض ضعيفة وأملحها أو قواعد ضعيفة وأملحها وذلك يتوقف على درجة الأس الأيدروجيني pH المرغوبة ، وعلى سبيل المثال يستخدم محلول منظم الفوسفات المكون من مخلوط من فوسفات البوتاسيوم أحادية الأيدروجين وفوسفات البوتاسيوم ثنائية الأيدروجين ، فعندما ينتج في المستنبت ذو المحلول المنظم أحماض فان جزء من الفوسفات أحادية الأيدروجين تتحول الى فوسفات ثنائية الأيدروجين مع أقل تغيير ممكن في درجة الـ pH



وعلى العكس من ذلك فان انتاج مواد قلوية في المستنبت المنظم فان جزء من الفوسفات ثنائية الأيدروجين تتحول الى فوسفات أحادية الأيدروجين مع مقاومة التغيير في درجة الـ pH قدر الامكان .



أما المستنبتات التي يتوقع انتاج كميات كبيرة من الأحماض فيها أثناء نمو الكائنات الدقيقة فيمكن تنظيم درجة الأس الأيدروجين pH فيها باستخدام كربونات الكالسيوم غير الذائبة كمستودع للمادة القلوية . المستنبت يستخدم لمعادلة الحموضة الناتجة باستمرار . وتؤدي الحموضة الناتجة الى بيكربونات ثم الى حمض الكربونيك الذي يتحلل الى ثاني أكسيد الكربون CO_2 + ماء كما يلي :



ويمكن استخدام كربونات الكالسيوم في المستنبتات الخاصة لعزل الأحياء الدقيقة المنتجة للحموضة حيث تظهر هالات رائقة حول المستعمرات التي تنتج حموضة مما يؤدي الى اختفاء راسب كربونات الكالسيوم من حول المستعمرات .

ويمكن قياس درجة الأس الأيدروجيني pH لأي محلول بطريقة كهربية باستخدام جهاز قياس درجة الأس الأيدروجيني (pH Meter) أو باستخدام صندوق مقارنة الألوان Lovibond Comparator مع استعمال دلائل كاشفة تعطى ألوانا مختلفة على درجات PH مختلفة ، والجدول (٣-٧) يوضح الدلائل المختلفة ، والألوان الناتجة على درجات pH مختلفة .

المجاهر Microscopy

كما أشرنا في الباب الأول ، فان انتونى فان ليفينهوك اكتشف عالم الأحياء الدقيقة بواسطة استعمال مجهر بسيط مكون من عدسة واحدة ذات بعد بؤرى قصير ، وأنه لولا اكتشاف المجاهر لما أمكن رؤية الأحياء الدقيقة .

وقد تطورت المجاهر من وقت ليفينهوك عام ١٦٨٠ ، وعلى مدى ثلاثة قرون من الزمان الى أن وصلت للمجاهر التى نعرفها اليوم والتى تطورت تطورا كبيرا

وسنقدم هنا الأنظمة المختلفة للمجاهر المركبة المعروفة حاليا باختصار

: Light microscope

١- المجهر الضوئى

يتركب المجهر الضوئى (شكل ٣-١١) من ثلاث أنظمة منفصلة من العدسات وهى :-

: Condensor

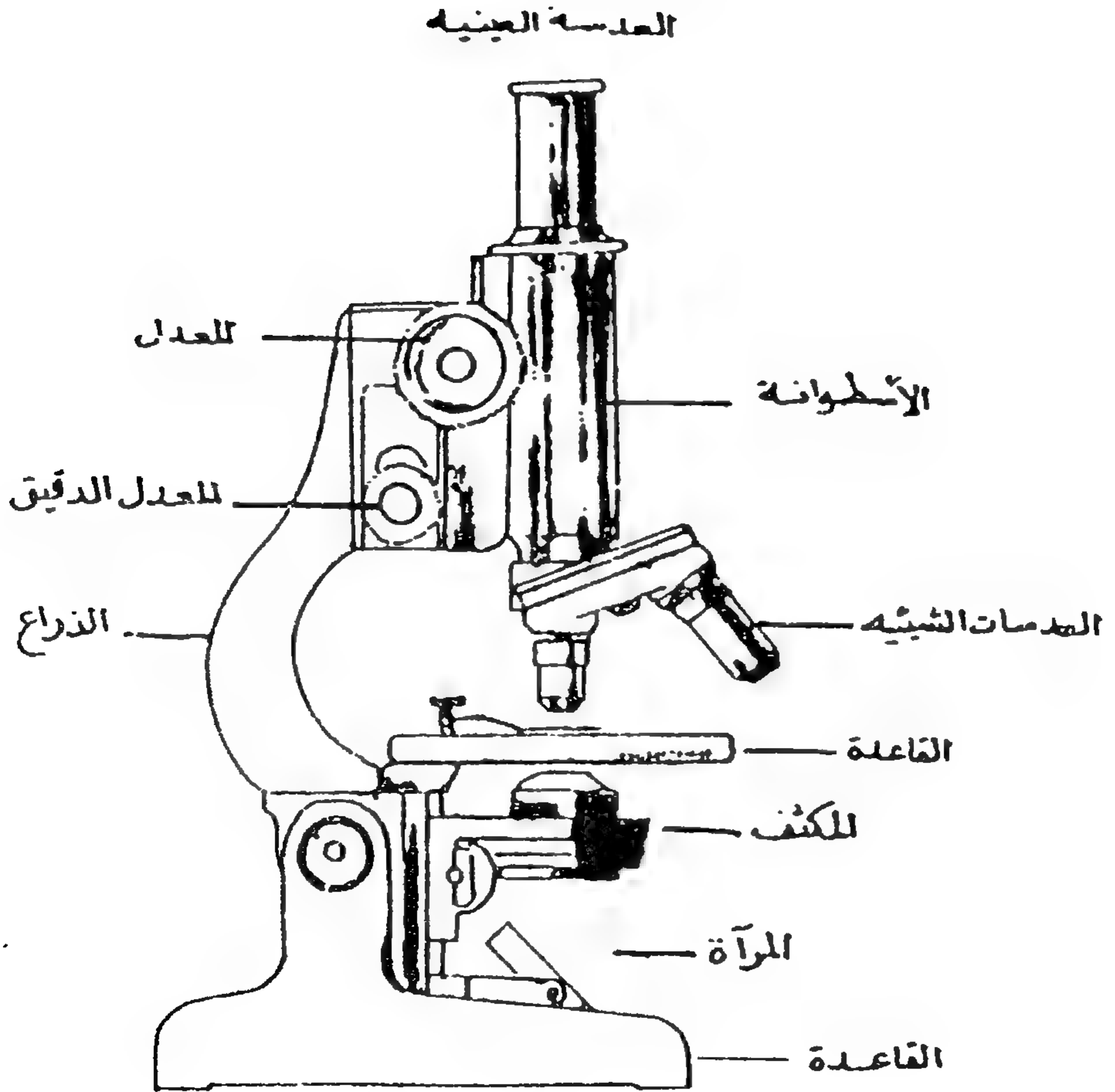
أ- المكثف:

وهو يقع بين مصدر الضوء والتحضير المراد فحصه ويقوم المكثف

جدول ٣-٧ : بعض الصفات الهامة لبعض الدلائل الكاشفة
التي تستعمل في الدراسات البكتريولوجية .

الدليل	كمية من NaOH ١.٠ س لكل ١.٠ جرام من الدليل لتكوين الملح الصوديومي*	التركيز المطلوب من الدليل % (في محلول ٥٠ % كحول إيثايل)	مجال درجة الأس الهيدروجيني pH	تغير اللون حمض - قلوي
(مجال حمض) Metacresol purple	٢.٦٣	٠.٤	١.٢ - ٢.٨	أحمر إلى أصفر
(مجال حمض) Thymol blue	٢.١٥	٠.٤	١.٢ - ٢.٨	أحمر إلى أصفر
Brom phenol blue	١.٤٩	٠.٤	٣.٠ - ٤.٠	أصفر إلى أزرق
Brom cresol green	١.٤٣	٠.٤	٣.٨ - ٥.٤	أصفر إلى أزرق
Chlor cresol green	١.٩٢	٠.٤	٤.٠ - ٥.٦	أصفر إلى أزرق
Methyl red	—	٠.٢	٤.٤ - ٦.٠	أحمر إلى أصفر
Chlor phenol red	٢.٣٦	٠.٤	٤.٨ - ٦.٤	أصفر إلى أحمر
Brom cresol purple	١.٨٥	٠.٤	٥.٢ - ٦.٨	أصفر إلى أرجواني
Brom thymol blue	١.٦٠	٠.٤	٦.٠ - ٧.٦	أصفر إلى أزرق
Phenol red	٢.٨٢	٠.٢	٦.٨ - ٨.٤	أصفر إلى أحمر
Cresol red	٢.٦٢	٠.٢	٧.٢ - ٨.٨	أصفر إلى أحمر
(مجال قلوي) Metacresol purple	٢.٦٢	٠.٤	٧.٤ - ٩.٠	أصفر إلى أرجواني
(مجال قلوي) Thymol blue	٢.١٥	٠.٤	٨.٠ - ٩.٦	أصفر إلى أزرق
Cresolphthalein	٢.٨٩	٠.٤	٨.٠ - ٩.٨	عديم اللون إلى أحمر
Phenolphthalein	—	٠.٥	٨.٣ - ١٠.٠	عديم اللون إلى أحمر

(*) لعمل محلول مائي من الدليل أضف كمية NaOH ١.٠ أساسي إلى ١.٠ جرام من الدليل
وتصحن في هون صيني ثم يضاف إليها ماء مقطر إلى أن يصبح الحجم ٢٥٠ مل وعندئذ يكون
تركيز الدليل بالمحلول ٠.٤ ٪ .



شكل ٣-١١ : رسم تخطيطي لمجهر ضوئي حديث.

١٥ بتجميع الضوء على حقل المجهر لتحسين نوعية الاضاءة ، مما يمكن من الحصول على قوة تكبير عالية . والمكثف يمكن تحريكه الى أسفل وأعلى بواسطة منظم خاص للحصول على أفضل اضاءة .

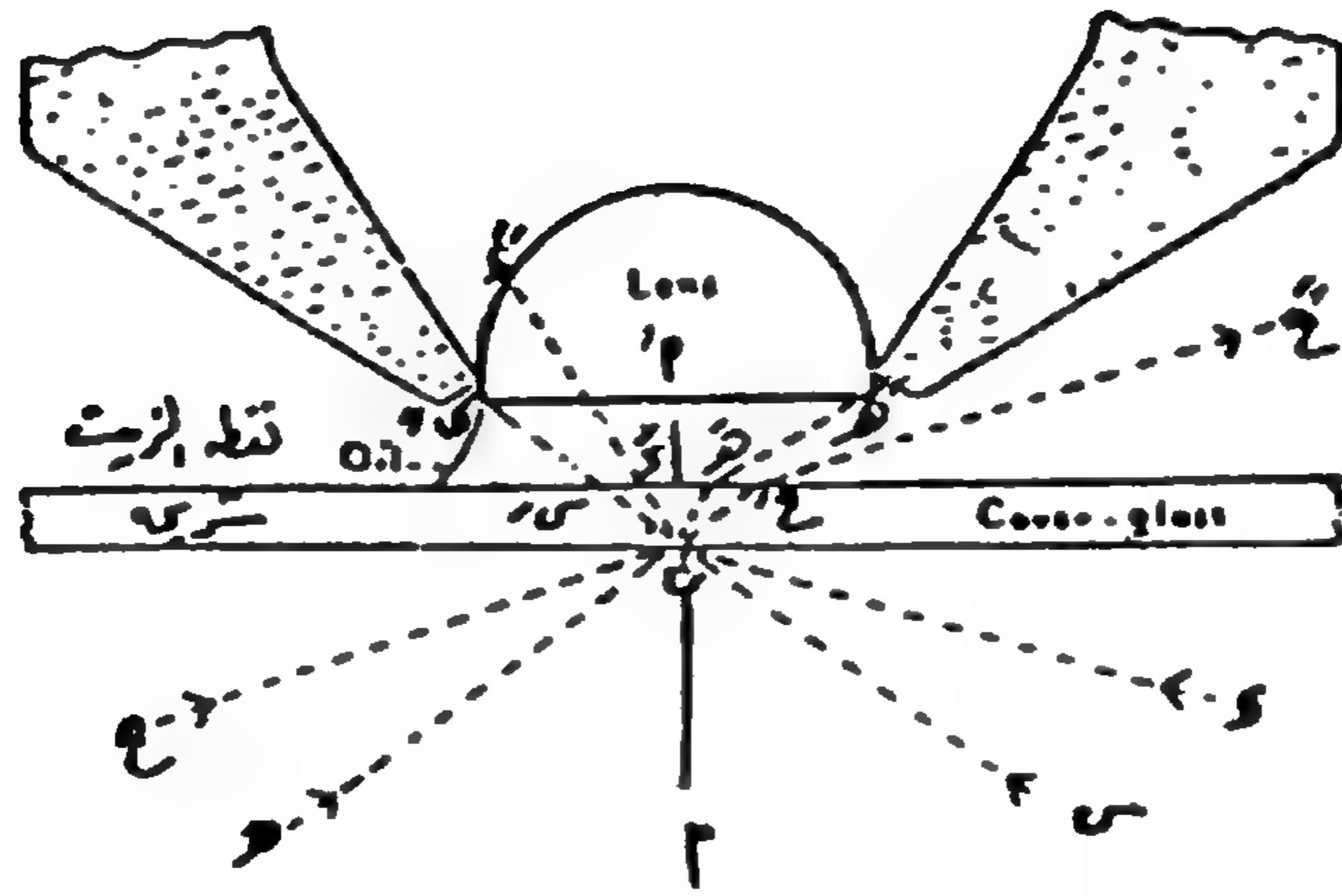
ب- العدسات الشيئية Objective lenses :

تركب مجموعة العدسات الشيئية على قطعة أنفية Nose piece د وارة تحتوى على ٣-٥ عدسات ، العدسة الصغرى ذات قوة تكبير تصل الى $\times 10$ (تكبير الأشياء عشرة مرات) والعدسة الوسطى ذات قوة تكبير ٤٠-٤٥ \times (تكبير الأشياء ٤٠ الى ٤٥ مرة) والعدسة الكبرى ذات تكبير ٩٠-١٠٠ \times (تكبير الأشياء من ٩٠ الى ١٠٠ مرة) وتختلف الأخيرة عن العدستين الصغرى والوسطى فى طريقة استعمالها ، فيجب عند استعمالها غمرها فى زيت ذو معامل انكسار مساو لمعامل انكسار زجاج الشريحة الزجاجية (١,٥٢) المستخدمة فى التحضير . ويستخدم لذلك زيت السيدر عادة . ولذلك تسمى العدسة الكبرى باسم العدسة الزيتية أو العدسة المغمورة فى الزيت Oil immersion lense .

وترجع أهمية استعمال الزيت لغمر العدسة الزيتية الى منع تشتت الضوء بالانكسار . حيث أن زيادة التكبير تستلزم زيادة الاضاءة حتى يمكن رؤية التحضير بوضوح .

واذا فرضنا أن نصف الحيز الذى يقع بين العدسة وبين الشريحة يحتوى على زيت معامل انكساره يساوي معامل انكسار الزجاج ، بينما فى النصف الآخر لا يوجد سوى الهواء (شكل ٣-١٢) فيلاحظ أن النصف الذى لا يوجد فيه زيت يتشتت الضوء فيه بالانكسار مبتعدا عن العدسة الشيئية . بينما فى النصف الآخر فان الضوء لا ينكسر ويدخل الى العدسة الشيئية .

ومن ذلك يتضح أن نقطة زيت السيدر تساعد على تجميع الأشعة الضوئية التى تنفذ الى العدسة الشيئية ، فبدلا من دخول الأشعة



شكل ٣-١٢ : رسم تخطيطي يوضح تأثير زيت الفم على مسار الضوء . لاحظ أن الضوء في النصف الأيسر من الرسم يمر في خط مستقيم ليصل إلى العدسة . أما مسار الضوء في النصف الأيمن حيث لا يوجد زيت ينكسر الضوء بعيداً عن العدسة .

المحصورة في المنطقة هـ ب س فقط في حالة عدم وجود الزيت فانه في حالة وجود هذا الزيت تزداد كمية الأشعة الداخلة وتمثلها الأشعة المحصورة في المنطقة ج ب د .

جـ — العدسات العينية : Ocular lens :

وهي تكبر الصورة الناتجة عن العدسة الشيئية وتوصلها للعين .

يمتاز المجهر الضوئي المركب عن المجاهر البسيطة ذات العدسة الواحدة بأنه يتغلب على الزيغ (abberation) التشويش — عدم الوضوح — (التشتت) بنوعيه الدائري Spherical ، واللوني Chromatic والذي غالبا ما يحدث في المجاهر البسيطة .

وتركب العدسات العينية والشيئية على أنبوبة واحدة قابلة للحركة لأعلى ولأسفل بالنسبة للتحضير الذي يوجد على مسرح المجهر . ويمكن تحريك الأنبوبة الى أعلى وأسفل بواسطة منظم للضبط التقريبي Coarse adjustment Knobs بغرض وضع التحضير بصفة تقريبية عند البعد البؤري للعدسة الشيئية ثم يضبط وضع التحضير بدقة عند البعد البؤري بواسطة منظم للضبط الدقيق Fine adjustment Knob . وقد يكون مسرح Stage المجهر قابل للحركة في اتجاهات مختلفة لتسهيل الفحص . وتكون جميع الأجزاء السابقة أنبوبة العدسات ومسرح المجهر والمكثف ومصدر الضوء مركبة على عمود أو قائم Pillar متصل مع القدم عادة بواسطة مفصل . وفي كثير من المجاهر تكون العدسة العينية مزدوجة لتسمح بالرؤية خلال العينين بدلا من الرؤية خلال عين واحدة ، وتكون قوة تكبير المجهر هي حاصل ضرب قوة تكبير العدسة العينية في قوة تكبير العدسة الشيئية . وتكون قوة التكبير مكتوبة على العدسات ويمكن زيادة قوة تكبير المجهر (في بعض المجاهر التي يوجد بها أنبوبة سحب) بسحب أنبوبة داخلية للأنبوبة الحاملة للعدسات العينية والشيئية . ولكن مثل ذلك التكبير لا يكون مصحوبا بزيادة قوة

التمييز . Resolving Power

قوة التمييز ; Resolving Power

وهي قدرة المجهر على أن يكون صورا منفصلة عن بعضها البعض لنقط أو أجزاء صغيرة متقاربة من بعضها بشكل صور منفصلة غير متراكبة فوق بعضها وهذه الخاصية تحدد التفاصيل الدقيقة التي يمكن مشاهدتها مجهريا . فمثلا نجد أن شيئا صغيرا يظهر تحت المجهر في صورة قرص محاط بحلقات من الضوء والظلام . فإذا كان هناك نقطتين متجاورتين فيكون تمييزهما كنقط منفصلة Resolved عندما تكون الحلقات المحيطة بهما منفصلين بدون تراكب بعضها فوق بعض . وأصغر مسافة بين نقطتين يمكن تمييزها تعرف باسم قوة التمييز Resolving Power وهذا يحدد أقصى حد نافع للتكبير في المجهر الضوئي ويرمز لقوة التمييز هذه بالحرف (d) .

$$(d) = \frac{0.5 \lambda}{N \sin \alpha}$$

λ = الطول الموجي للضوء المستخدم .
 $\sin \alpha$ = جيب نصف زاوية العدسة الشيئية .
 N معامل انكسار الوسط بين التحضير والعدسة الشيئية
والقيمة ($N \sin \alpha$) تسمى قيمة الفتحة العددية للعدسة الشيئية (NA) وتصف خواص العدسة الشيئية . وزيادة قيمة الفتحة العددية للعدسة الشيئية تزيد قوة التمييز ولكن الى حد محدود لو كان الوسط بين العدسة الشيئية والتحضير هو الهواء فان قيمة الفتحة العددية تكون محدودة بالقيمة ٠.٦٥ . ويمكن زيادة هذه القيمة الى ١.٤ بوضع زيت ذو معامل انكسار ١.٥٢ بدلا من الهواء بين العدسة الشيئية والتحضير . وتحت الظروف المعملية فانه يمكن الحصول على قوة تمييز قصوي حوالى ٢٠٠ نانوميتر باستخدام ضوء مرئي ذو أقصر طول موجي مرئي (حوالى ٤٢٦ نانوميتر) . وبمعنى آخر فان نقطتين المسافة

بينهما أقل من ٢٠٠ نانوميتر لا يمكن التمييز بين صورتهما بانمجهـر
الضوئى .

٢- مجهر الأشعة فوق البنفسجية

Ultraviolet light microscope

بالرجوع الى معادلة قوة التمييز فاننا نلاحظ أنه يمكن زيادة قوة
التمييز كلما صغر الطول الموجى للأشعة المستخدمة . ونظرا لأن الأشعة
فوق البنفسجية (١٠٠-٤٠٠ نانوميتر) ذات طول موجى قصير ، فقد
قامت فكرة عمل مجهر الأشعة فوق البنفسجية .

ويختلف هذا المجهر عن المجهر الضوئى فى أن مصدر الضوء فى
مجهر الأشعة فوق البنفسجية يكون هو الأشعة فوق البنفسجية ، كما أن
عدساته من الكوارتز ، ويجب استعمال كاميرا معه لتسجيل الصور ، حيث
أن العين لا يمكنها رؤية الأشعة فوق البنفسجية ، فهى فى المجال
غير المرئى ، وتصل قوة التمييز Resolving Power الى ١٠٠
نانوميتر .

Florescence Microscope

٣- المجهر الفلورسنتى

ان العيوب الواضحة فى مجهر الأشعة فوق البنفسجية مثل عدم
قدرة العين على استقبال الصور الموجودة وضرورة تسجيل الصور على
أفلام خاصة حساسة للأشعة فوق البنفسجية قد جعل من مجهر الأشعة
فوق البنفسجية أداة غير شائعة . وقد أدخلت عليه تعديلات فانتج
المجهر الفلورسنتى وهو ذو استعمالات بيولوجية متعددة ، وتعتمد
فكرته على أن مركبات كيميائية معينة ذات القدرة على امتصاص الأشعة
فوق البنفسجية تشع جزء من هذه الطاقة بطول موجى أطول من الطول
الموجى للأشعة فوق البنفسجية ، وينتج عن ذلك ضوء يقع فى مجال الضوء
المرئى ، وتعرف هذه الظاهرة باسم الفلورنسنس Florescence
وعند تعريض جسم فلورسنت للأشعة فوق البنفسجية فانه ينتج عنه ضوء

ساطع في وسط مظلم . وهذا هو أساس المجهر الفلورسنتى . وتكون عدسة المكثف فقط هي المصنوعة من الكوارتز حيث أن الضوء الذى يخرج من التحضير هو ضوء فلورسنت . ويشمل استعمال هذا النوع من المجاهر استعمال تقنية خاصة تسمى Immunoflorescence فعندما يحقن حيوان بجسم غريب معين Specific Antigen مثل نوع معين من البكتيريا ، فإن الجسم ينتج أجساما مضادة Antibodies ترتبط بهذا الجسم الغريب .

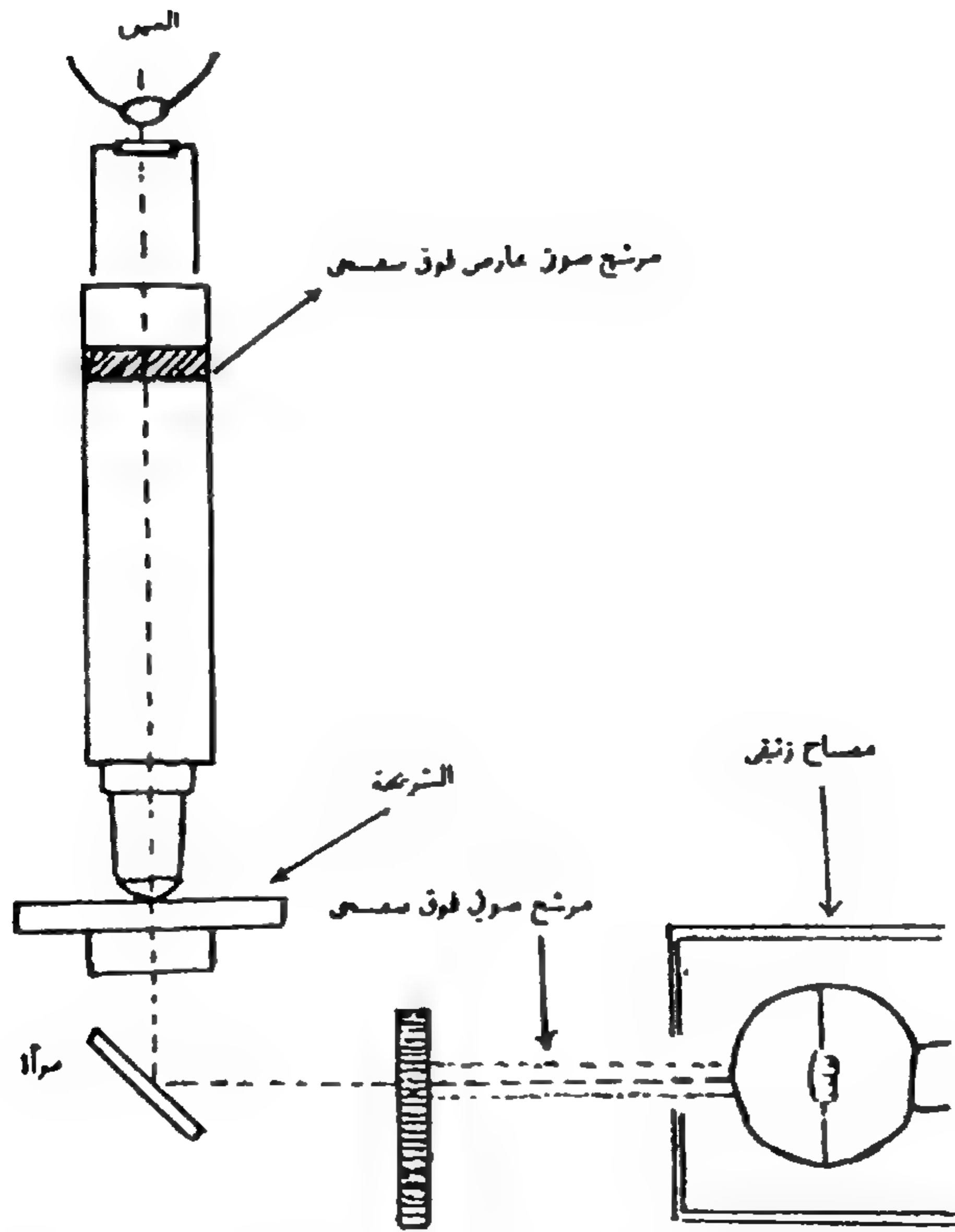
ويمكن جعل بروتين الأجسام المضادة يكون ضوء فلورسنتى بإضافة صبغة خاصة تسمى صبغة الفلورسنت Florescent dye وعند ارتباط هذه المكونات ببعضها فإنها تنتج ضوء فلورسنتى من الأشعة فوق البنفسجية . ويمكن بهذه التقنية الكشف عن نوع معين من البكتيريا فى مخلوط من البكتيريا بإضافة الأجسام المضادة الخاصة بها وفحصها بالمجهر الفلورسنتى . كما استخدمت هذه التقنية أيضا فى دراسة طريقة نمو الجدار الخلوى فى البكتيريا . (شكل ٣-١٣) .

٤- مجهر المتباين (الأطوار المتباينة)

Phase contrast microscope

تعتمد فكرة هذا النوع من المجاهر على أن الخلايا والأنسجة لها معامل انكسار يختلف عن معامل انكسار الوسط المحيط ، وهذا الاختلاف يستخدم لتكوين صورة للجسم المختلف فى معامل الانكسار بدرجة أكبر من التمييز عما يمكن الحصول عليه فى المجهر الضوئى العادى ، ويمكن استغلال هذا الاختلاف أيضا لرؤية مكونات الخلية دون حاجة لصبغها أو قتلها وتثبيتها كما يحدث فى المجهر الضوئى العادى .

الشكل (٣-١٤) يوضح مسارات الضوء فى كل من المجهر الضوئى العادى ومجهر الأطوار المتباينة . ومجهر الحقل المظلم Dark field microscopy لتوضيح الفرق بينها . وفى مجهر الأطوار المتباينة يكون مصدر الضوء مخروطا فارغا من الضوء يأتى نتيجة مروره



شكل ٣-١٣ : رسم يوضح تنظيم المكونات المجهرية لدراسة الخلايا والأنسجة بالضوء الفلورسنتى
Fluorescent light

على حلقة خاصة قبل وصوله لعدسة المكثف . وفي العدسة الشيئية توجد حلقة تقدم أو تؤخر المسار بمقدار $\frac{\lambda}{2}$ الموجة الضوئية على ما هي عليه في المركز وبالتالي ينتج قوة تمييز أفضل للتفاصيل الدقيقة وخاصة فى المواد الحية .

Dark field microscopy

٥- مجهر الحقل المظلم

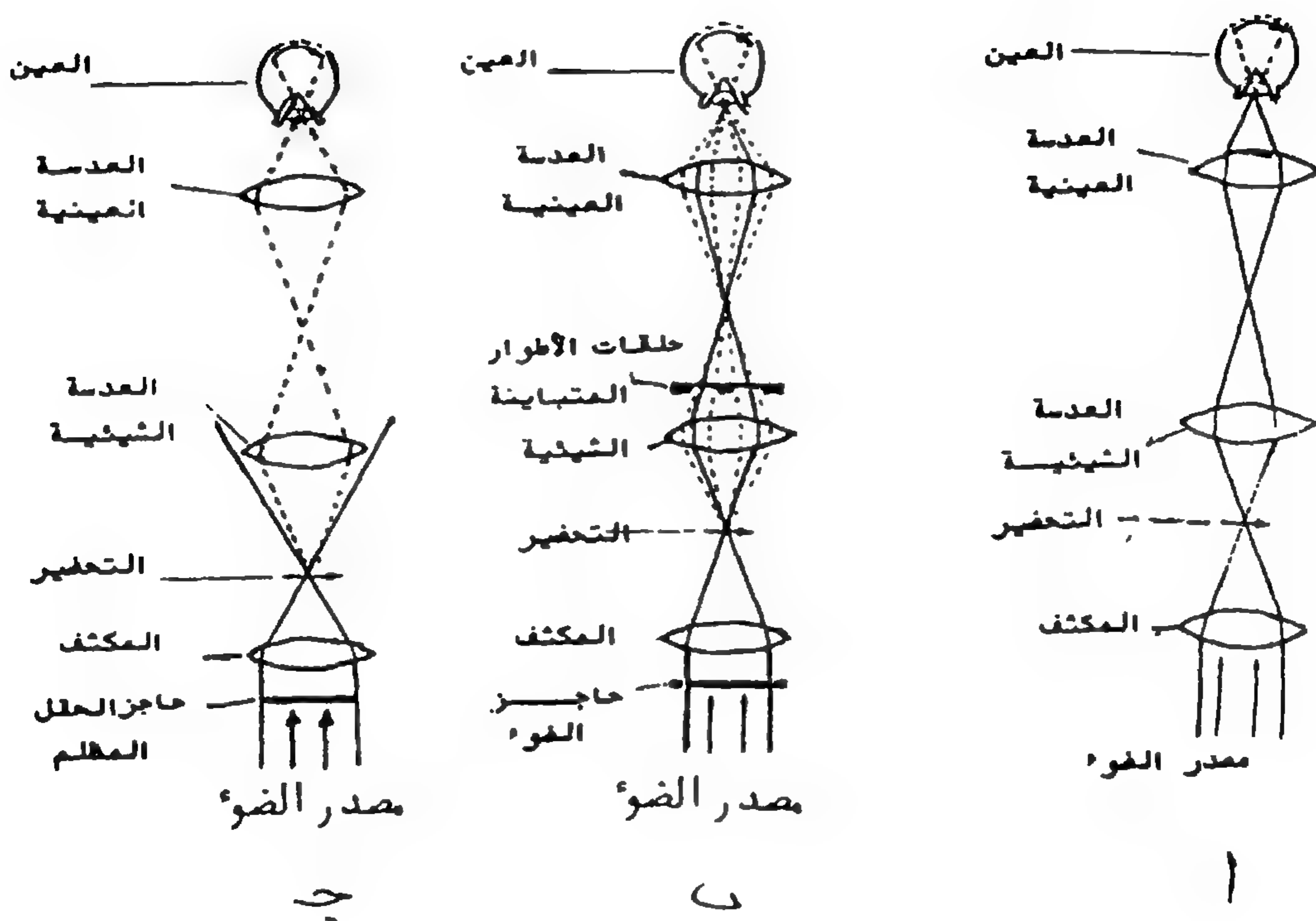
يعتمد هذا النوع من المجاهر على بعثرة الضوء بواسطة التحضير Specimen فيظهر الجسم المفحوص مضى ، فى وسط مجال مجهرى مظلم . ويزود مكثف مجهر الحقل المظلم بدائرة معتمدة فى المركز حتى لا يصل أى ضوء مباشر الى التحضير المفحوص (شكل ٣-١٤) . والضوء الذى يصل الى التحضير يأتى من خارج الدائرة المعتمدة بزاوية مـارة خلال التحضير ، فعند النظر فى المجهر عند عدم وجود التحضير لا يرى شئ على الاطلاق الا الظلام . ولكن عند وجود التحضير فان جزء من الضوء يتبعثر على خلايا التحضير ، وهذه الأشعة المبعثرة هى التى تصل الى العدسة الشيئية فـالعينية ، لذلك يبدو التحضير مضيئاً فى وسط مظلم .

ويستعمل هذا المجهر لرؤية الكائنات الدقيقة مثل بعض أنواع البكتيريا والسوطيات . ويجب أن تكون الشرائح الزجاجية نظيفة جداً وخالية من الخدوش حتى لا ينتج عنها أى انكسارات للضوء .

٦- المجهر الالكترونى النفاذ

Transmission electron microscope

ان اكتشاف المجهر الالكترونى (شكل ٣-١٥) هو أحد أهم الاكتشافات فى القرن العشرين فى مجال الفيزياء التطبيقية . وقد أحدث هذا الاكتشاف الهام تطورا كثيرا للمعلومات البشرية فى مجال علوم الحياة Biology . وكان اكتشاف المجهر الالكترونى مبنيا على أساس أن المجال الكهرومغناطيسى الذى تمر خلاله حزمة من الالكترونات



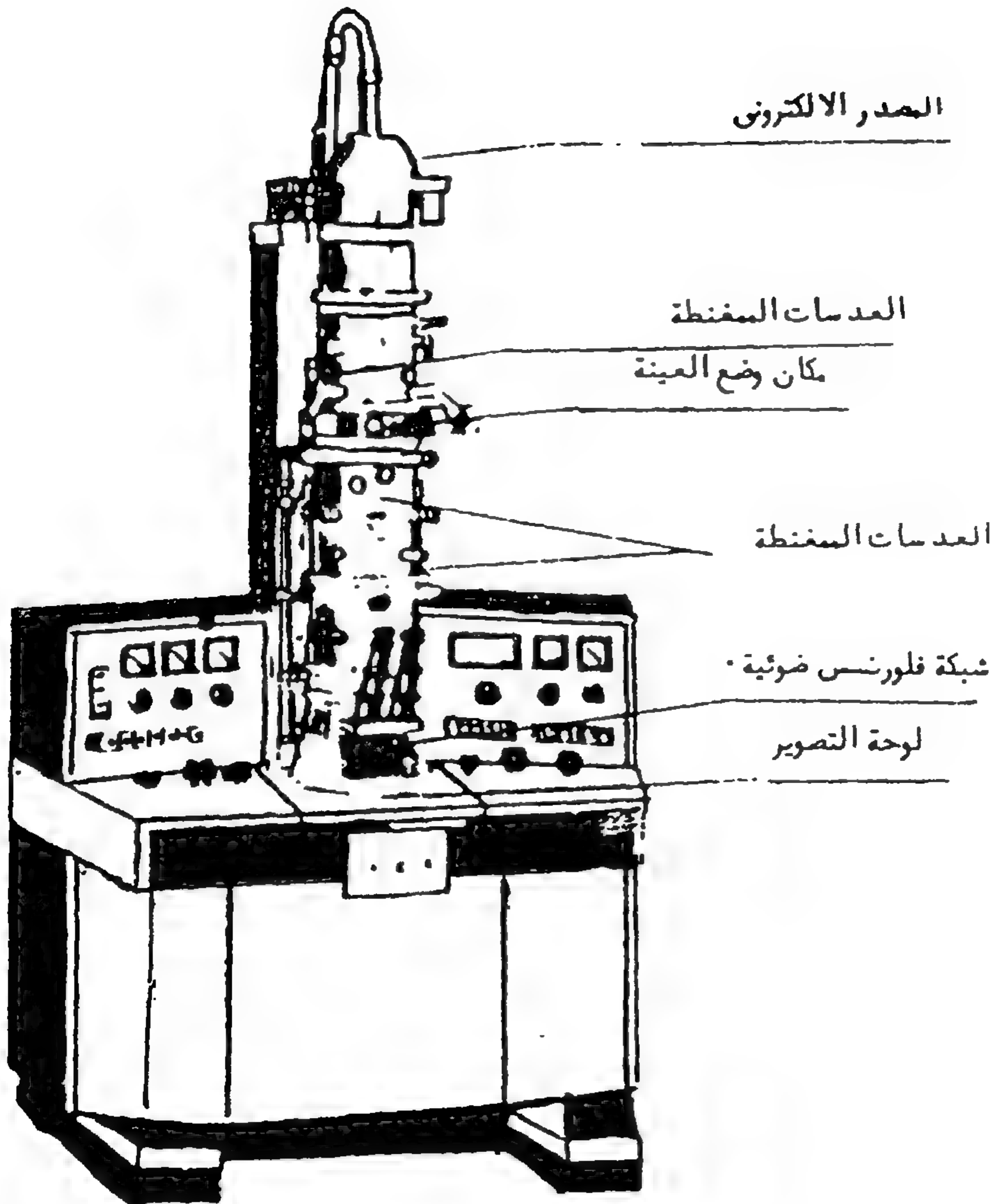
شكل ١٤-٣ : مسار الضوء في كلا من :

أ - مجهر الحقل المضيء Bright field

ب - مجهر الأطوار المتباينة Phase contrast

ج - مجهر الحقل المظلم Dark field

شكل ٣-١٥ : صورة للمجهر الالكتروني النفاذ



Beam of Electrons يشبه لحد ما عمل العدسة الزجاجية التي يمر خلالها حزمة ضوئية (شعاع ضوئي) . فالحزمة الالكترونية لها نفس خواص الشعاع الضوئي ذات الطول الموجي القصير جدا عند ما يسلب عليها تيار كهربائي عالي الجهد (١٠٠ ألف فولت) فان الطول الموجي يكون ٠.٤ نانوميتر (أى حوالي عشرة آلاف مرة أقصر من الطول الموجي للضوء العادي . لذلك فان قوة التمييز Resolving Power في المجهر الالكتروني أكبر بكثير من المجهر الضوئي ، بمعنى أن المجهر الالكتروني يستطيع التمييز بين شيئين أكثر قربا من بعضهما عما يمكن تمييزه بالمجهر الضوئي .

أول مجهر الكتروني كان من صنع شركة سيمنز الألمانية ١٩٣٩ م . ثم قامت شركة بريطانية بتطوير نموذج أفضل وهو المجهر الالكتروني AEI 2 . ولم تستخدم هذه المجاهر الالكترونية في الدراسات البيولوجية نظرا لعدم توفر المعدات اللازمة لعمل قطاعات رقيقة جدا . وذلك لأن قوة اختراق الالكترونات للمواد صغيرة جدا ، ولا يمكن رؤية صور التحضيرات البيولوجية الا بعمل شرائح رقيقة جدا منها .

وقرب منتصف القرن الحالي طورت أجهزة تقطيع خاصة ذات قدرة على عمل شرائح رقيقة متناهية الصغر في السمك . كما استحدثت مادة بلاستيكية تستخدم لظمر العينات (المراد دراسة تركيبها الداخلي الدقيق Internal Fine Structure) بعد تثبيتها وتجفيفها حيث يمكن تقطيعها بعد ذلك الى شرائح لا يزيد سمكها عن ٥٠ نانوميتر .

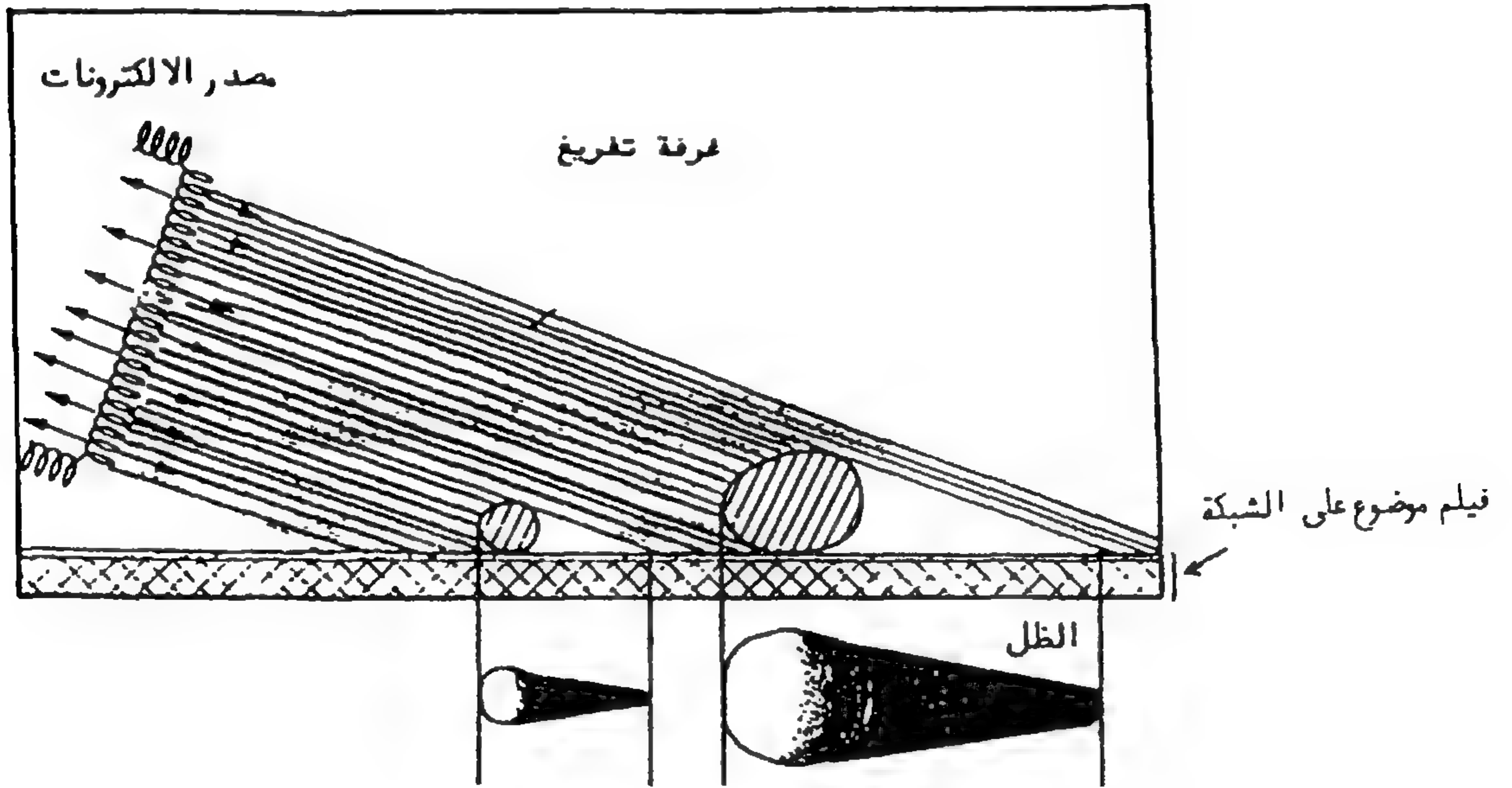
وقد طورت أيضا طرق تقنية حديثة لعمل التحضيرات مثل الصبغ Staining بألاح المعادن الثقيلة (كالرصاص والتنجستن واليورانيوم) وهذه اما تثبت على التحضير (صبغ موجب - Positive staining) أو تستخدم نفاذية الالكترونات في الوسط المحيط بالتحضير ، ولا تنفذ في التحضير نفسه فتتكون صورة سالبة للتحضير . والصبغ السالب بصفة خاصة مفيد جدا في فحص التركيبات الصغيرة جدا مثل الفيروسات

وجزيئات البروتين وأسواط البكتيريا وغيرها . كما ابتكرت أيضا طريقتى التظليل بالمعادن Metal shadowing وال Freeze etching لفحص التحضيرات البيولوجية .

ففى طريقة التظليل بالمعادن (شكل ٣-١٦) يعرض التحضير المجفف بزاوية حادة لتيار مباشر من معدن ثقيل (كالبلاتين أو الذهب أو البلايديم) منتجا بذلك صورة تظهر الثلاثة محاور لتركيب الجسم المفحوص .

أما فى ال Freeze etching فان التحضير يجمد على درجة حرارة منخفضة ثم تقطع الكتلة المجمدة بواسطة سكاكين خاصة لتظهر الأسطح المختلفة للتحضير . ويمكن بعد ذلك تظليل هذه الأسطح بالمعادن الثقيلة بتعريضها لتيار من المعدن بزاوية حادة كما سبق الذكر . ثم يغطى المعدن بطبقة من الكربون لحمايته ثم يحطم التحضير المظلل بمعاملة كيميائية خاصة تاركا قالب أو بصمة Replica للتحضير الأصلي فتفحص . وقد استخدمت هذه الطريقة لفحص تركيب الجدار الخلوي والغشاء الخلوي لكثير من الكائنات الدقيقة .

ولقد أدى اكتشاف المجهر الالكترونى الى زيادة كبيرة فى التكبير وقوة التمييز (درجة الوضوح للأجسام الصغيرة جدا) فتغلبت المجاهر الالكترونية على عيوب المجاهر الضوئية ذات قوة التمييز المحدودة والمحددة بالطول الموجى للضوء المرئى . (فالمجهر الضوئى الذى يستعمل الضوء المرئى الأزرق " وهو الضوء الذى له أقصر طول موجى نطاق الضوء المرئى ٤٠٠ نانوميتر " يكون له القدرة على اظهار الأشياء التى لا تقل المسافة بينها عن ٢٠٠ نانوميتر كما سبق وأن ذكرنا) . أما المجاهر الالكترونية فاستخدمت حزم الكترونية (شعاع الكترونى) ذات سرعة عالية جدا ذو طول موجى قصير جدا حوالى ٠.٤ نانوميتر (كمصدر للاضاءة) . لذلك فالمجهر الالكترونى يستطيع التمييز



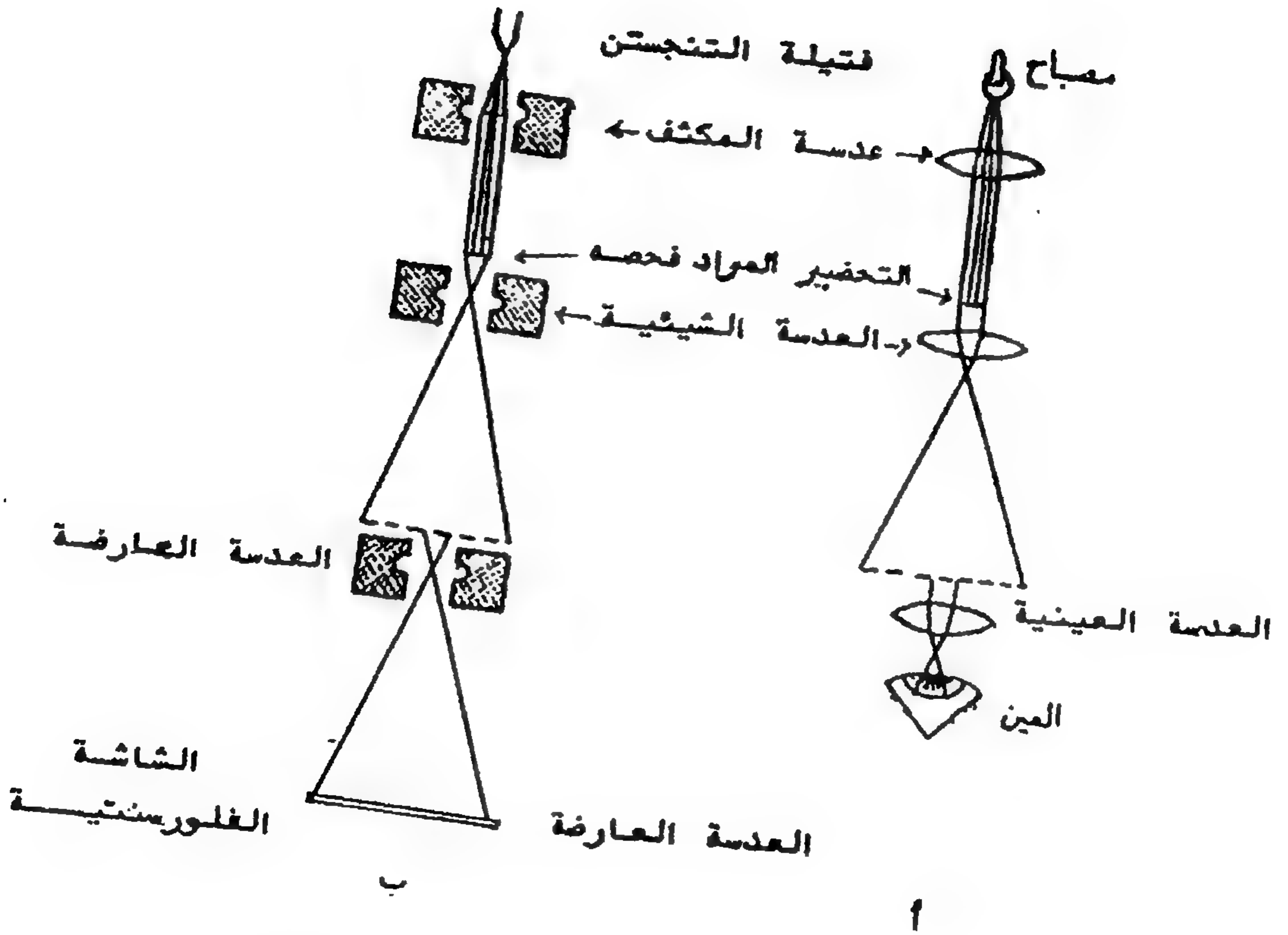
شكل (٣-١٦) : رسم تخطيطي يوضح تحديد شكل وحجم الفيروسات بطريقة الظل باستخدام المجهر الالكتروني

بين النقط التي تكون المسافة بينها ٢ ر الى واحد نانوميتر ، أى حوالى ألف ضعف قدرة تمييز أقوى المجاهر الضوئية ، ويمكن الحصول على هذا الطول الموجى القصير جدا للشعاع الالكترونى بامرار الالكترونات فى وسط شديد التفريغ (يكون الضغط أقل من ١٠ ملليمتر زئبق) تحت ضغط تيار كهربائى شديد (عادة يستخدم تيار شدته من ٦٠٠٠ ر ٦٠ - ١٨٠٠٠ فولت وهناك بعض المجاهر الحديثة التى تستعمل تيار شدته مليون فولت - وكلما زادت شدة التيار كلما قصر الطول الموجى للشعاع الالكترونى وزادت قوة التكبير . وفى المجاهر الالكترونية الحديثة أمكن الوصول الى قوة تكبير تتراوح ما بين ٦٣٠٠٠ ر ٦٣٠ مرة الى ٦٠٠٠٠ ر ١٦٠٠٠ مرة) لتمر الالكترونات خلال الجسم المراد فحصه ثم استقبالها على لوحة تصوير ضوئى حساسة . فنكون على هذه اللوحة صورة نافذة لمكونات الجسم المفحوص أشبه ما تكون بصور الأشعة السينية X-rays . كما يمكن استقبال الالكترونات على لوحة فلورسنتية . ونظرا لما تحمله الالكترونات من شحنة كهربية فانه يمكن تجميعها باستخدام مجالات كهربية أو مغناطيسية (شكل ٣-٧) فيتكون بذلك جهاز للاظهار له القدرة على الكشف عن دقائق التركيب الداخلى للأجسام .

والسبب فى عمل التفريغ الشديد يرجع الى أن الشعاع الالكترونى يتشتت فى وجود الغازات نتيجة اصطدام الالكترونات بجزئيات الغاز . لذلك فلا بد من وضع العينة ومصدر الالكترونات والعدسات والشاشة والصفائح الفوتوغرافية فى عمود مجوف محكم يتصل بمضخة تفريغ .

تركيب المجهر الالكترونى :

ويتركب المجهر الالكترونى من أجزاء أساسية هى :



شكل ٣-١٧ : رسم تخطيطي لمقارنة مسار الضوء في المجهر الضوئي (أ) والمجهر الإلكتروني (ب).

Cathod housing

١- حجرة المهبط

وهي مصدر شعاع الالكترونات (وتمثل لمبة الاضاءة في المجهر الضوئي) وهي حجرة ذات جدار مزدوج غير قابل للمغنطة . وبها قطب المهبط وهو يتكون من فتيلة مخروطية من التنجستن Tungsten Filament بها أنبوبة أسطوانية ، ويوجد في قاع حجرة المهبط صفيحة المصعد Anode Plate .

٢- المكثف الكهرومغناطيسي

Electromagenetic alignment system

وهو يصلح من سير الالكترونات (ويمثل المكثف الضوئي الموجود بين مصدر الاضاءة والتحضير المطلوب فحصه في المجهر الضوئي) ويتكون من زوجين من الملفات الكهربائية في مستويين متتاليين يمر فيهما تيار متغير يحدث مجال مغناطيسي ، ويمكن تنظيم سرعة الالكترونات بواسطة جزء خاص في المكثف يسمى منظم قوة الاضاءة .

Imaging system

٣- جهاز تكوين الصورة

وهي المسئولة عن تكوين الصورة (وتشبه في عملها العدسات الشيئية والعينية) وهي عبارة عن ثلاث عدسات مصنوعة من معدن قابل للمغنطة ، وهذه العدسات هي الشيئية Objective وهي القريبة من التحضير المرغوب فحصه ، ثم العدسة المتوسطة Intermediate lens ويليهما عدسة العرض Projector lens كما يوجد حواجز لمنع التباين وتوضيح الصورة .

والعدسة الشيئية مصممة بحيث تضم بين قطبيها كلا من الجسم المراد فحصه وحاجز التباين . فتوضع القطاعات الرقيقة للعينات المراد فحصها على شبكة نحاسية Copper grid مغطاه بغشاء رقيق من مادة فورمفار Form Var أو طبقة رقيقة من الكربون Evaporated

Carbon ويمكن ادخال هذه الشبكة النحاسية الى غرفة العدسة الشيئية بواسطة قضيب خاص بحيث توضع بين قطبي العدسة الشيئية في مسار الشعاع الالكتروني .

٤- حجرة الرؤية

توجد أسفل عمود المجهر ولها ثلاث نوافذ جانبية يمكن خلالها رؤية الصورة على الشاشة الفلورسنتية الموجودة في قاع الحجرة . كما يوجد أيضا مجهر عادي جانبي لرؤية الصورة بوضوح أكثر . ويمكن وضع آلة تصوير أسفل الشاشة لتسجيل الصور على ألواح حساسة .

مقارنة بين المجهر الضوئي والمجهر الالكتروني

يتشابه المجهرين الضوئي والالكتروني من حيث وظائف الأجزاء الأساسية (شكل ٣-١٧) لدرجة كبيرة وفي كيفية الحصول على صورة مكبرة للتحضير المراد فحصه . . والجدول (٣-٨) يوضح أوجه الشبه المذكورة .

**جدول (٣-٨) : أوجه الشبه بين المجهر الضوئي والمجهر
الالكترونى :**

وجه الشبه	المجهر الضوئي	المجهر الالكتروني
الأشعة المستخدمة	شعاع ضوئي مرئي ذو طول موجي طويل جدا .	شعاع الكتروني ذو طول موجي قصير جدا ينتج من فتيلة الكاثود .
المكثف	يتكون من عدسة زجاجية لتجميع الأشعة الضوئية على التحضير	عبارة عن مجال كهرومغنا- طيسي لبؤرة الشعاع الالكتروني على التحضير .
العدسة الشيئية	عبارة عن عدسات زجاجية ذات بعد بؤري قصير لتكوين صورة للتحضير المراد فحصه	عبارة عن مجال كهرومغنا- طيسي يستقبل الشعاع الالكتروني المار خلال التحضير لتكوين صورة مكبرة للعينة .
العدسة العينية	عبارة عن عدسات زجاجية تستقبل الصورة المتكونة بالعدسة الشيئية وتنقلها للعين بعد ازالة الزيغ منها .	يقابلها عدسة العرض Projector lens وهي عبارة عن مجال كهرومغناطيسي ينقل الصورة الى جهاز العرض

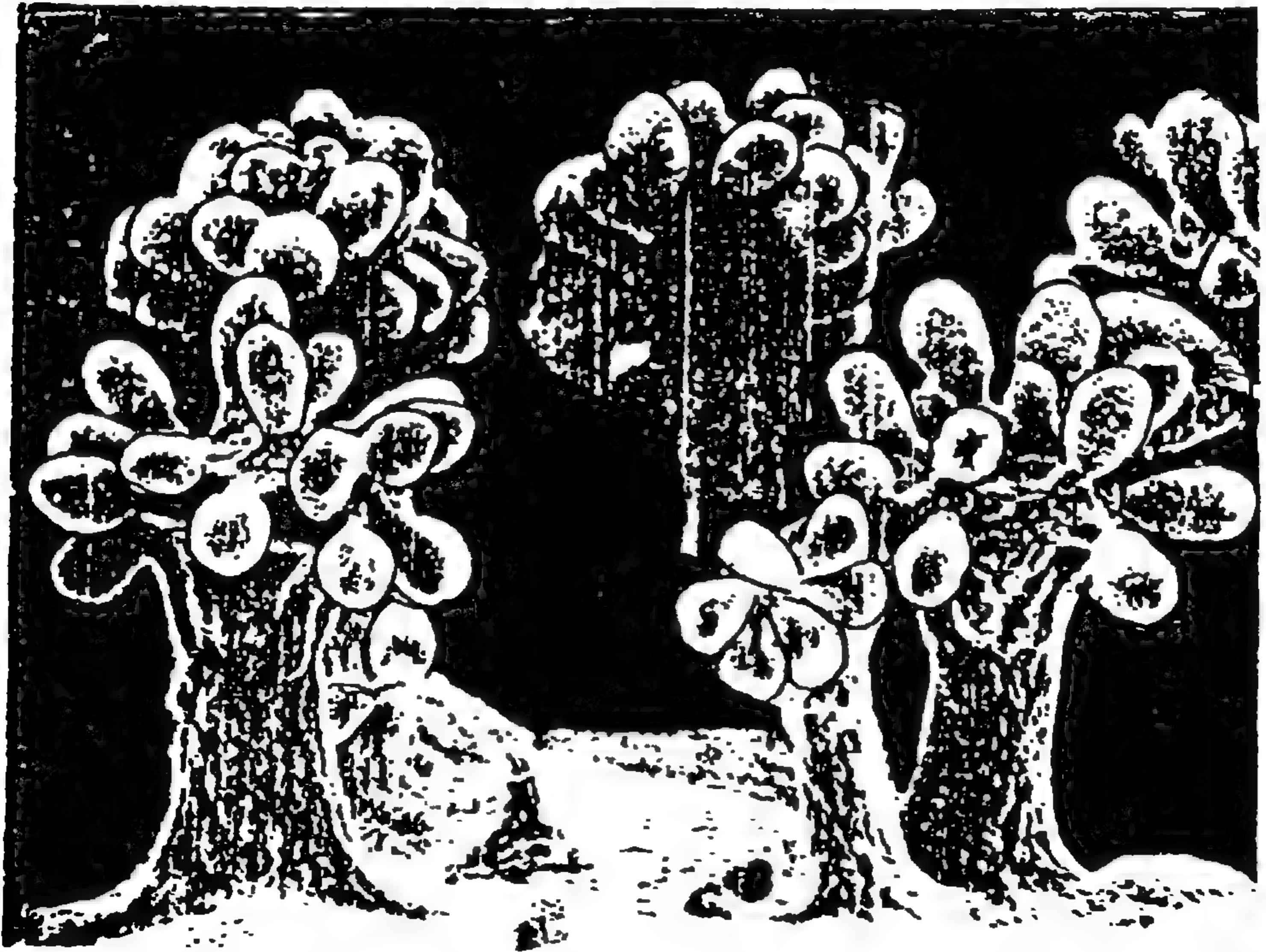
رغم أن وظائف الأجزاء الأساسية في المجهر الضوئي والمجهر
الالكتروني متشابهة الى حد كبير الى أن تركيب كلا من المجهرين مختلف
تماما . كما أن قوة التكبير والتمييز أيضا تختلف في كلا المجهرين .

٧- المجهر الالكترونى المساح

Scanning electron microscope

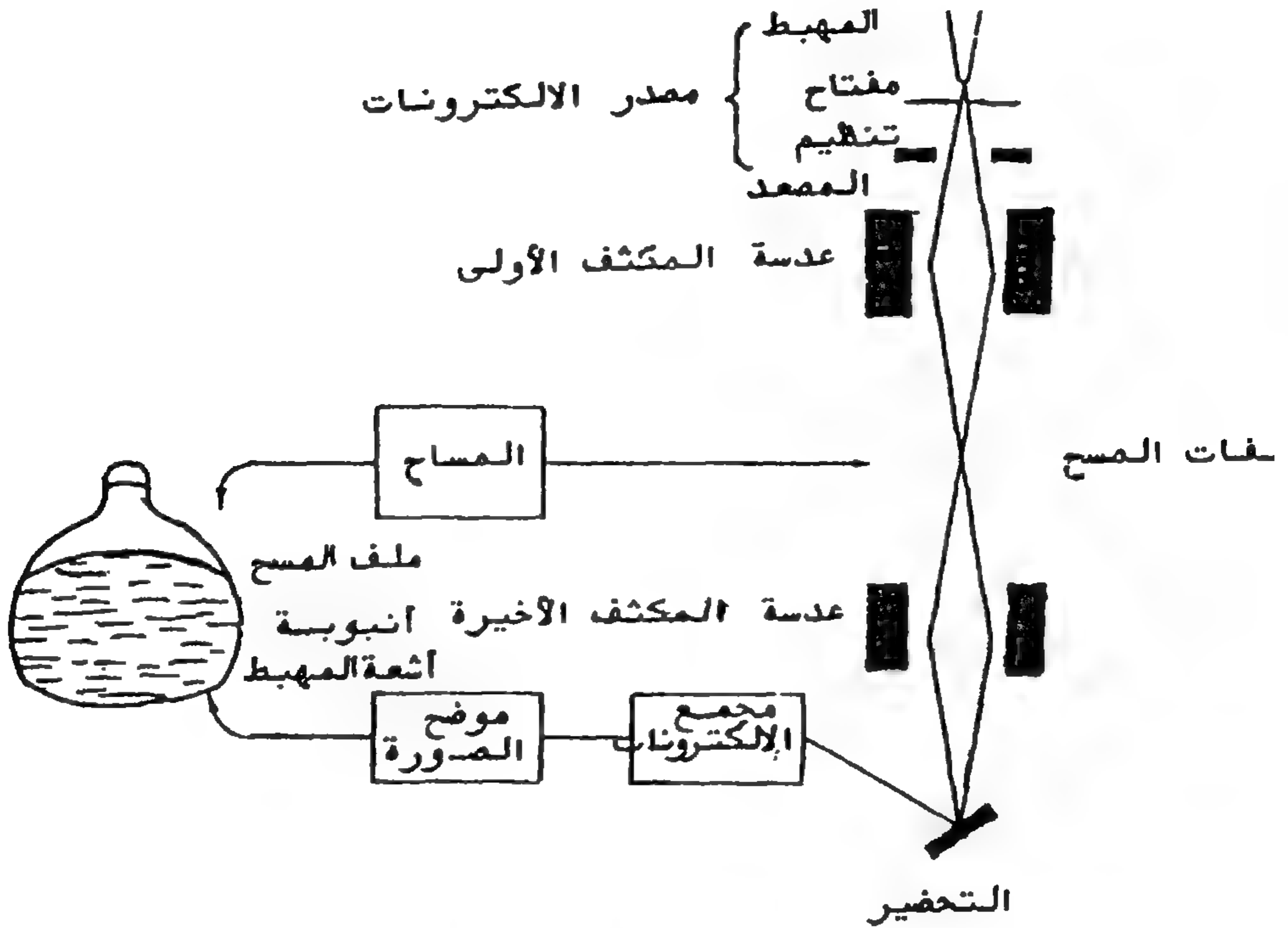
كلا من المجهر الالكترونى النفاذ والمجهر الضوئى تكون صورة أساسا ذات محورين Two dimensional حيث أن كلاهما له قدر محدود من عمق مجال الفحص.

وقد ظهر حديثا جهاز المجهر الالكترونى المساح ، وهو ذو قدرة على ايجاد صورة ذات ثلاث محاور Three dimensional للسطح المجهرى المطلوب فحصه . فعمق مجال الرؤية بهذا المجهر يصل الى عدة ملليمترات ، وقوة التكبير تصل من ٢٠ الى ١٠٠٠٠ مرة ، والشكل (١٨-٣) يوضح مثال على الصور المتحصل عليها بهذا المجهر .



شكل (١٨-٣) صورة المجهر الالكترونى المساح للأجسام
الثرية للميكسو بكتيريا
Chondromyces crocatus
تكبير ٨٢٠ مرة.

يفطى التحضير المطلوب فحصه بطبقة رقيقة من معدن ثقيل كالذهب ثم يمسح ذهابا وايابا بواسطة جهاز تكوين الشعاع الالكترونى Electron probe وهو ذو نهاية مجمعة مثل لمبات جهاز التليفزيون (شكل ٣-١٩) فتخرج الالكترونات من جهاز تكوين الشعاع الالكترونى الملتصق بالتحضير وتجمع لتكوين صورته على سطح أنبوبة شعاع المهبط .



شكل ٣-١٩ : رسم تخطيطى للمجهر الالكترونى المساح SEM

وينتج التمييز فى الصورة عن عدد الالكترونات المرتدة بواسطة التحضير . وهذا العدد من الالكترونات يتناسب مع الزوايا فى التحضير التى يمر عليها مصدر الالكترونات Electron probe ولذلك فإن تفاصيل التركيب Topology للتحضير تظهر فى الصورة ، ويتكـون جهاز تكوين الشعاع من مصدر 'الالكترونات' ، وهو عبارة عن فتيلة من

التنجستن وثلاث عدسات كهرومغناطيسية Electromagnetic lenses بالإضافة الى الملفات الفاحصة Scanning ومصحح البصر : البؤرى (ستجماتر Stigmator) وملفات انكسارية تسمح بالفحص الدقيق الالكترونى ، ويستخدم تيارا كهربائيا ذا ضغط عال يتراوح بين ١٥٠٠ الى ٢٥٠٠٠ فولت . ويمكن بواسطة هذا الجهاز فحص العينات الرطبة .

كما يمكن تركيب جهاز تليفزيونى للمجهر المساح فيمكن من متابعة التغيرات التى تحدث بالتحضير (العينة) . ولا يتطلب الأمر اجراءات معقدة للعينات المراد فحصها بالمجهر المساح . بل يمكن فى بعض الأحيان فحص العينات - ون تحضير مسبق . كما يتميز المجهر المساح أيضا بعمق بؤرى كبير يزيد حوالى ٣٠٠ مرة عن المجهر الضوئى ، لذلك فان السطوح الخشنة تصور بتفصيل دقيق . والقوة التمييزية لهذا المجهر تصل الى ٢٥ نانوميتر .

البَابُ الثَّانِي

الأحياء الدقيقة حقيقية النواة أو ذوات النواه الحقيقية

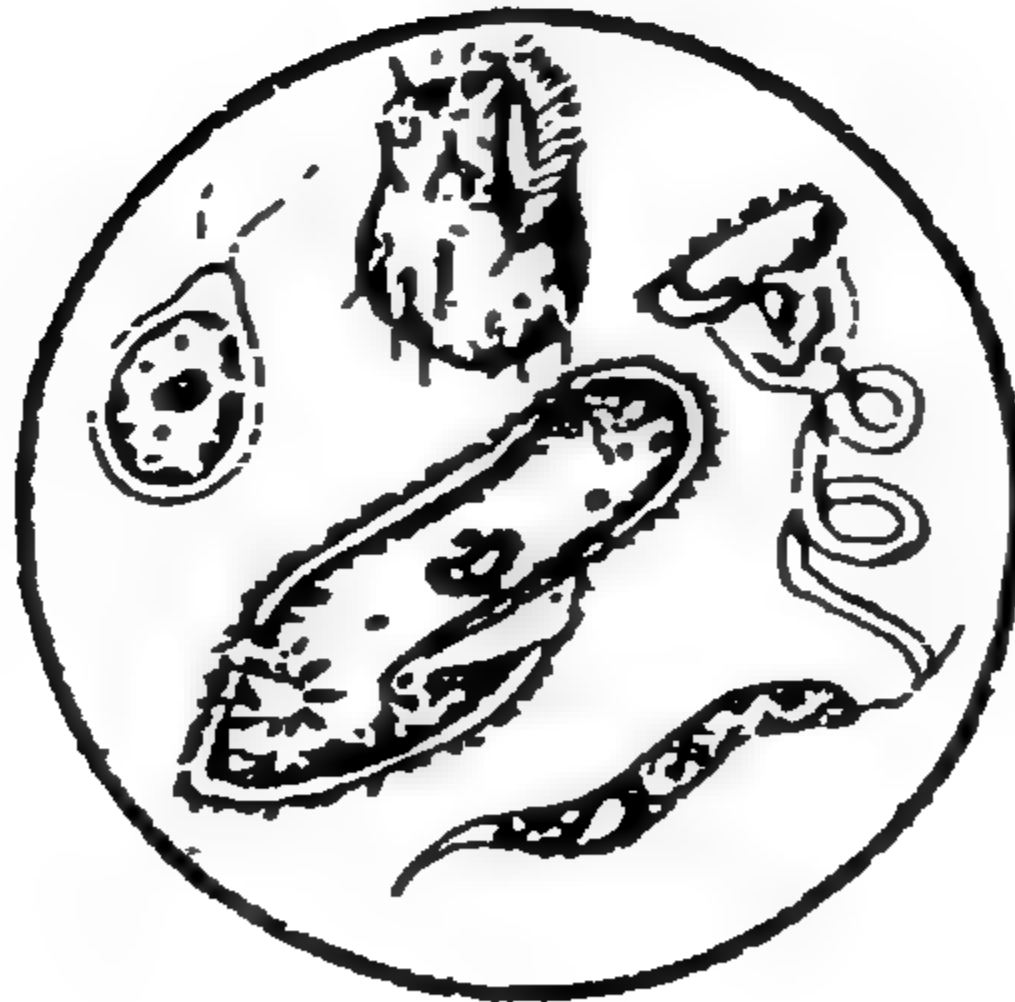
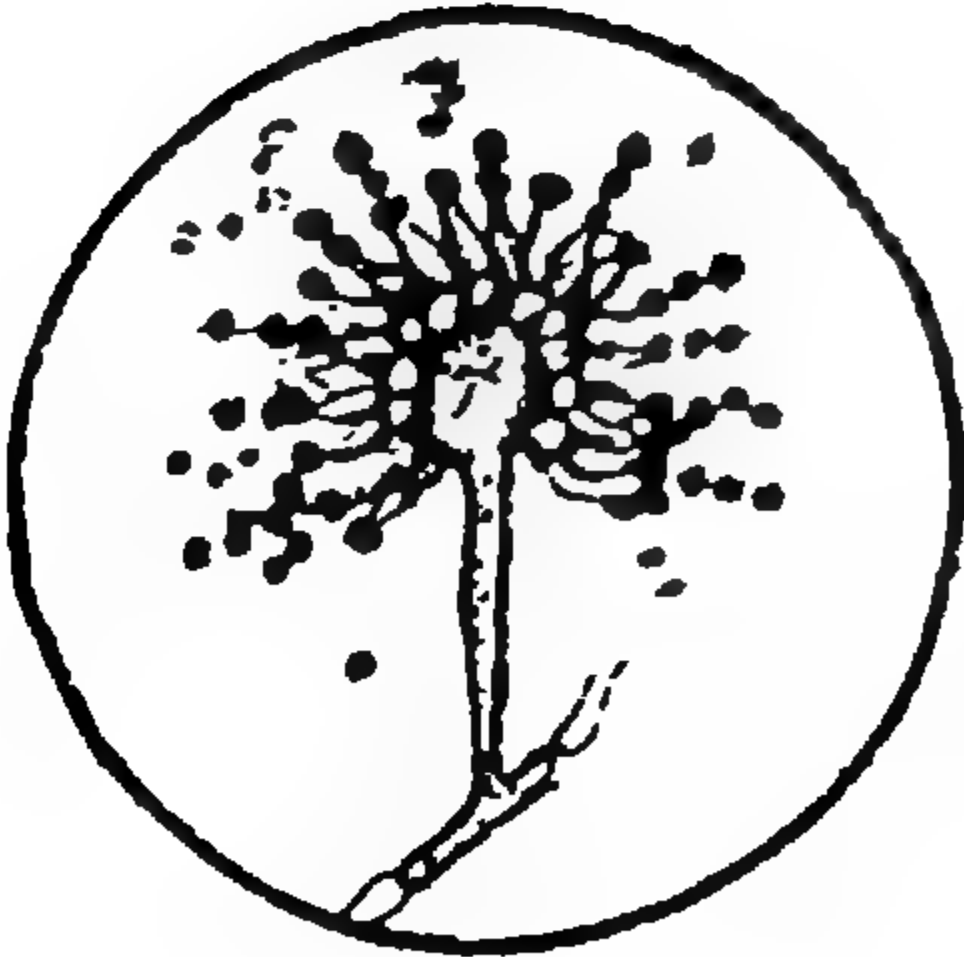
« البروتستتا »

الفصل الرابع : الصفات العامة للأحياء الدقيقة حقيقية النواة.

الفصل الخامس : الطحالب ..

الفصل السادس : البروتوزوا ..

الفصل السابع : الفطريات والفطريات اللزجة.



الفصل الرابع

الصفات العامة للأحياء الدقيقة

حقيقية النواة (البروتست)

General characteristics of eucaryotic microorganisms " Protists "

البروتست هي مجموعة من الأحياء الدقيقة Microorganisms تحتوي على أنوية حقيقية مثلها في ذلك مثل جميع الكائنات الراقية من نبات وحيوان . فخلايا النبات والحيوان تحتوي على أنوية حقيقية . وتتميز النواة الحقيقية عن النواة غير الحقيقية بوجود الغشاء النووي . فالنواة الحقيقية في غير مراحل الانقسام المختلفة يكون لها غشاء نووي واضح بعكس النواة البدائية والتي ليس لها غشاء نووي .

وتتميز الكائنات ذات النواة الحقيقية (بما في ذلك الأحياء الدقيقة وغيرها) بوجود مراكز محددة أعضيات (تصغير أعضاء) Organelles مخصصة داخل الخلية للقيام ببعض وظائف الخلية . فمثلا تقوم البلاستيدات الخضراء بعملية التمثيل الضوئي ، بينما تقوم الميتوكوندريا Mitochondria بعملية توليد الطاقة .

وتحتوي النواة على الصفات الوراثية للخلية . وفي كثير من الخلايا توجد عضيات Organelles أخرى للقيام بوظائف هامة ستناقش فيما بعد . كما أن انقسام الخلية ذات النواة الحقيقية والتكاثر الجنسي فيها أكثر تعقيدا مما يحدث في الخلايا ذات النواة البدائية ، ولكن التعقيد الملحوظ في التركيب الوظيفي للخلايا ذات النواة الحقيقية لا يصحبه نفس الدرجة من التعقيد في التركيب الكيميائي لهذه الخلايا .

وتشمل البروتست Protists ثلاث مجموعات رئيسية متميزة . وهي الطحالب Algae ، والبروتوزوا Protozoa ، والفطريات Fungi . وكل مجموعة من هذه المجموعات ينتمي إليها عدد كبير من الأحياء المتنوعة تنوعا كبيرا . ومن أكثر الكائنات الحية تمثيلا لهذه المجموعات

الثلاث على التوالي هي عشب البحر Sea weeds وهو يمثل الطحالب بوضوح ، والهديات Ciliates وهي تمثل البروتوزوا Protozoa بوضوح ، وفطر عيش الغراب Mushroom وهو يمثل الفطريات بوضوح . وليست كل الكائنات التابعة للبروتستا Protists على نفس هذه الدرجة من الوضوح في تقسيمها . وكثيرا ما يكون التقسيم بصفة تقريبية Arbitrary فهناك كائنات دقيقة لها بعض الصفات تشبه البروتوزوا ، وبعض الصفات تشبه الطحالب مثل اليوجلينا Euglena ، كما أن بعض الكائنات لها بعض صفات البروتوزوا وبعض صفات الفطريات ، مثل الفطريات اللزجة Slime mold . ولهذا السبب فانه لا يمكن تمييز خطوط حادة فاصلة بين المجموعات الثلاث التابعة للبروتستا ، ولكن بصفة عامة — يمكن تعريف الطحالب Algae بأنها كائنات ذات نواة حقيقية ولا تتميز فيها سيقان أو أوراق أو جذور وتقوم بالتمثيل الضوئى الذى يصحبه انطلاق الأكسجين ، وتحتوى خلاياها على بلاستيدات خضراء Chloroplasts وبعض الطحالب وحيدة الخلية Unicellular وبعضها يكون مستعمرات Colonial من عدة خلايا ، وبعضها يكون خيوطا Filamentous من عدة خلايا ، وبعض الطحالب أيضا يكون تركيبات أكثر تطورا تشبه النباتات الراقية مع حدوث درجة محدودة جدا أو عدم حدوث أى تكشف Differentiation فى الخلايا أو الأنسجة ، كما أن الطحالب قد تكون وحيدة النواة Uninucleate أو متعددة الأنوية Coenocytic .

وعلى ذلك فالطحالب عبارة عن مجموعة كبيرة من الكائنات تختلف فيما بينها اختلافات كبيرة ، ولا يمكن اعتبار جميع أفرادها أحياء دقيقة Microorganisms حيث أن بعض الطحالب تعتبر كائنات كبيرة-Macroor- ganisms ويمكن رؤيتها بوضوح بالعين المجردة . بل ان بعض الطحالب تصل فى الطول الى حوالى (٥٠) خمسون مترا مثل الطحلب البنى Brown algae المعروف بالكلب Kelp .

أما الفطريات Fungi والبروتوزوا Protozoa فكلاهما غير قادر على تمثيل الضوء ، ولا يحتويان على بلاستيدات خضراء أو حتى

كلوروفيل ، ولكن الاختلاف الأساسي بينهما ينحصر في أن البروتوزوا تكون دائما وحيدة الخلية Unicellular وغالبا وحيدة النواة Uninucleate وليس لها جدار خلوي ، بينما تكون الفطريات متعددة الأنوية Coenocytic . . . وينمو في صورة خيطية Filamentous متفرعة تسمى الميسليوم Mycelium (فيما عدا عدد كبير من الخمائر وهي مجموعة الفطريات وحيدة النواة وحيدة الخلية وتتكاثر بالتبرعم Budding) ولها جدار خلوي .

ولأسباب تاريخية — كما سبق أن ناقشنا في الباب الأول — اعتبرت الطحالب والفطريات نباتات ، ودرست لدرجة كبيرة بواسطة علماء النبات . أما البروتوزوا ، فقد اعتبرت حيوانات . . . ودرست لدرجة كبيرة بواسطة علماء الحيوان . ونتيجة لهذا الفصل التخصصي في الدراسة فإن عددا من خطوط الاتصال بين هذه المجموعات الثلاث قد أغفل . وسنحاول في هذا الباب عرض التركيب التشريحي للأحياء الدقيقة ذات النواة الحقيقية بصفة عامة ، مع إيضاح الفروق الجوهرية فيما بينها من جهة ، وبينها وبين الكائنات ذات النواة البدائية من جهة أخرى .

الصفات العامة لذوات النواة الحقيقية

تتشابه الكائنات الحية ذات النواة الحقيقية في عدد من الصفات الهامة نعرض أهمها فيما يلي :

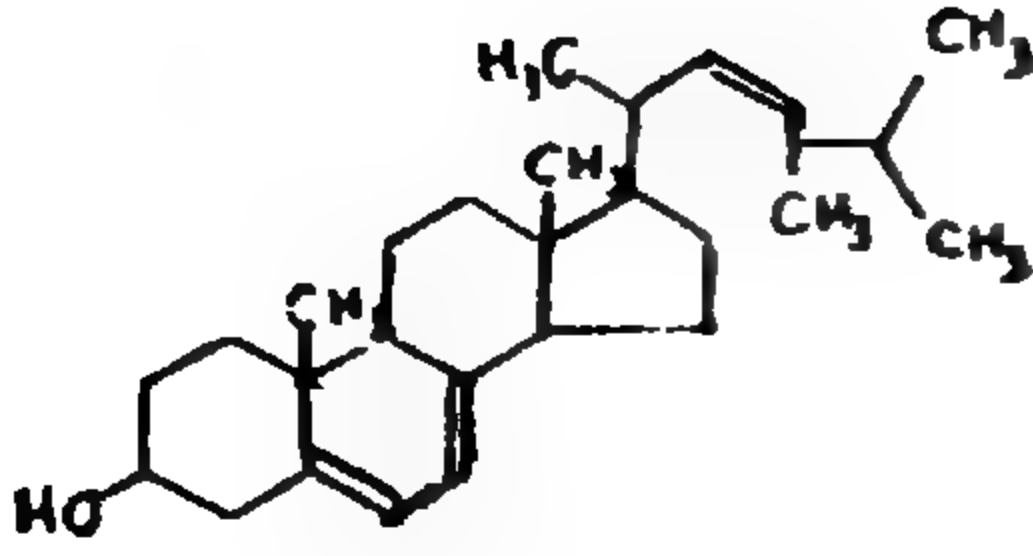
أولاً : وحدة الغشاء Unit membrane

تحاط جميع خلايا الأحياء الدقيقة ذات النواة الحقيقية (البروتستا) بغشاء خلوي Cellular membrane ويسمى أحيانا الغشاء السيتوبلازمي Cytoplasmic membrane أو الغشاء البلازمي Plasmic membrane . ويمكن رؤية هذا الغشاء بالمجهر الإلكتروني مكونا من ثلاث طبقات ، كما في الغشاء الخلوي لذوات النواة البدائية (شكل ٩-٢) الذي يلي ذكره بالتفصيل في الفصل التاسع ، وسنذكر الغشاء حوالى

٨ نانوميتر . والأغشية بهذا التركيب تسمى وحدة الغشاء Unit membrane.

ومن الدراسات المتوفرة حاليا يبدو أن الأغشية الخلوية في كلا النوعين من الكائنات الدقيقة (ذوات النواة البدائية وذوات النواة الحقيقية) لهما تركيب بنائي متشابه الى حد كبير . والاختلافات الملحوظة في أغشية النوعين من الخلايا محدودة (وربما تكون مهمة من حيث الوظيفة) مثل اختلاف نوعية الفوسفوليبيدات Phospholipids والبروتينات . . أما الاختلاف الأهم من ذلك فهو احتواء أغشية ذوات النواة الحقيقية على السيترولولات (شكل ٤-١) . وتتميز السيترولولات بقدرتها على اعطاء الصلابة Rigidity للأغشية على عكس الأحماض الدهنية التي تكسب الأغشية المرونة Flexibility ، فالأغشية الصناعية التي تصنع من فوسفوليبيدات مضافا اليها سيترولولات تكون أقل تسربا Less leaky من تلك الأغشية المصنوعة من فوسفوليبيدات فقط ، ولا يعرف السبب في أهمية أن تكون الأغشية الخلوية لذوات النواة الحقيقية ذات تركيب أصلب أو أكثر ثباتا من تركيب الأغشية الخلوية لذوات النواة البدائية ، إلا أنه ربما يكون حجم الخلية هو السبب في ذلك ، فالخلايا ذات النواة الحقيقية أكبر ، وبذلك يقع على أغشيتها ضغط Physical stress أكبر من ذلك الواقع على أغشية ذوات النواة البدائية .

هذا وتجدر الإشارة الى أن مجموعة من المضادات الحيوية Antibiotics والمعروفة باسم عديدات الكين Polyene مثل Filipin والنياساتين Nystatin والكاندسدين Candicidin كلها تتفاعل مع السيترولولات مما يذهب بثبات الأغشية الخلوية لذوات النواة الحقيقية اذا عوملت بأحد هذه المضادات الحيوية . وهذا يجعل ذوات النواة الحقيقية حساسة للمعاملة بهذه المجموعة من المضادات الحيوية ، ولكن الكائنات الحية ذات النواة البدائية (فيما عدا الميكوبلازما Mycoplasma) غير حساسة لهذه المضادات الحيوية نظرا لعدم احتواء أغشيتها الخلوية على السيترولولات . أما الميكوبلازما وهي لا تكون جدر خلوية فان السيترولولات تدخل في تركيب أغشيتها



شكل ٤-١ : التركيب البنائى
لاحد السيترولات - أرجوسيتترول
الخميرة .

جدول ٤-١ : العضيات الداخلية التى لها غشاء فى ذوات
النواة الحقيقية ووظيفتها .

وظائفها	حواصها	العصبان الداخليان
توليد الطاقة أثناء التنفس . النشيل الصوتى . بناء البروتينات فى الخلية .	حجمها مثل حجم البكتيريا وعشائها دو ثنيات معقدة . تركيبها يحوى على الكلوروفيل . لها أشكال متعددة وعادة كبيرة الحجم . وهى ليست عضية داخلية محددة ، وهى خطوط متعددة من العشاء الداخلى	ميتوكندريا البلاستيد الحصراء الشبكة الاندوبلازمية Endoplasmic reticulum
افراز الانزيمات والحزيمات الكبيرة الأخرى .	تركيبها محددة ذات عشاء .	أحسام جولجى Golgi bodies
الفجوات العدائية لهضم الغذاء . الفجوات المنقبضة لأخراج الفضلات .	أجسام دائرية ذات عشاء يحسوى بداخلها على أحسام منخفضة الكثافة الصوتية	الفجوات Vacuoles
أحسام يحوى على انزيمات الهضم وتفريها	جسيمات متناهية الصغر ذات عشاء .	الليسوسومات Lysosomes
التنفس الصوتى فى النباتات .	جسيمات متناهية الصغر ذات عشاء .	بيرو أوكسيسومات Peroxisomes
إبريق دورة الحليوكيلات .	جسيمات متناهية الصغر ذات عشاء .	حليوكسومات Glyoxomes
يحتوى على المواد الوراثية .	جسيم كبير يتركز فى وسط الحليية بصفة عامة .	النواة Nucleus

الخلوية ، وهي أيضا حساسة لهذه المضادات الحيوية .

ولا يقتصر وجود وحدة الغشاء على الغشاء الخلوي فقط في الكائنات ذات النواة الحقيقية Eucaryotes بل أن بعض العضيات Organelles الداخلية في الخلية تحتوى على أغشية مكونة من وحدة الغشاء Unit membrane . مثلها في ذلك مثل الغشاء الخلوى . والجدول (٤ - ١) يوضح العضيات الداخلية في الخلية التى تحتوى أغشية مكونة من وحدة الغشاء Unit membrane ووظيفة هذه العضيات ، تقوم هذه الأغشية الداخلية بفصل هذه العضيات عن باقى مكونات البروتوبلازم الخلوى . وفيما يلى نستعرض أهم العضيات الداخلية ذات الأغشية الخلوية .

ثانياً: الشبكة الاندوبلازمية Endoplasmic reticulum

وهى شبكة غير منتظمة من قنوات رفيعة متعددة تنتشر فى جميع أنحاء السيتوبلازم وتربط بين مكونين أساسيين من مكونات الخلية ، هما النواة nucleus والريبوسومات Ribosomes السيتوبلازمية . وجزء من هذه الشبكة الاندوبلازمية يحيط بالنواة مكونا الغشاء النووي Nuclear membrane ذو التركيب المميز والذى يحتوى على ثقبوب عديدة ذات قطر حوالى ٤٠ نانوميتر .

أما الأجزاء الأخرى من الشبكة الاندوبلازمية فتنتشر فى السيتوبلازم ، وتعرف باسم الشبكة الاندوبلازمية الخشنة Rough endoplasmic reticulum حيث يكون سطح الغشاء membrane surface مغطى بالريبوسومات السيتوبلازمية التى تكون البروتينات من المعلومات الوراثية الموجودة على الحمض النووى رن أ المرسال mRNA . ويعتقد أن هذا الحمض النووى رن أ المرسال mRNA يتكون من النواة ثم يمر خلال قنوات الشبكة الاندوبلازمية الى الريبوسومات لبناء بروتينات الخلية المختلفة . (أنظر مناقشة الأنواع المختلفة للأحماض لنووية رن أ DNA ، رن أ RNA فى الفصل الرابع عشر بالتفصيل) .

ثالثاً: أجسام جولجي Golgi apparatus

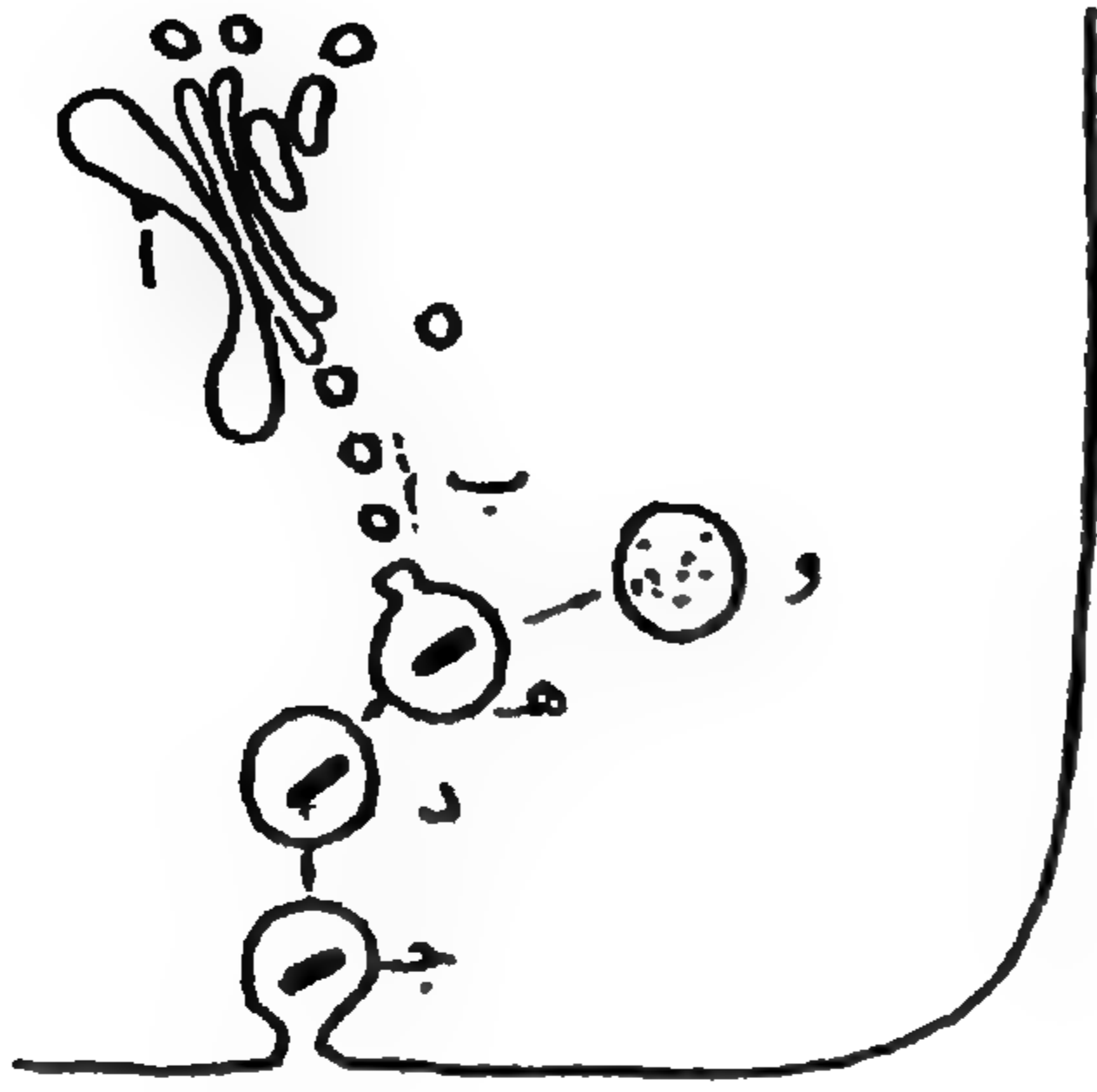
وهي عضيات غشائية داخلية تتكون من عدد من الأكياس والأوعية المفلطحة Flattened أو المضغوطة ذات أحجام مختلفة (شكل ٢-٤) ومحاطة بوحدة الغشاء Unit membrane وتعبأ المواد البروتينية المتكونة عند الشبكة الاندوبلازمية في هذه الأجسام وتنقل هذه المواد البروتينية بواسطة هذه الأجسام من مكان لآخر كما أن هذه الأجسام ايضاً تقوم بوظيفة اخراجية هامة في بعض الكائنات حيث تعبأ المواد المرغوب التخلص منها في أجسام جولجي ، وتتحرك هذه الأجسام صوب غشاء الخلية حيث تلتصق به ثم تنفجر الى الخارج لطرد هذه المواد المرغوب التخلص منها من الخلية ، وتعرف هذه العملية باسم Exocytosis .

رابعاً : أنظمة التمثيل الضوئي وتوليد الطاقة

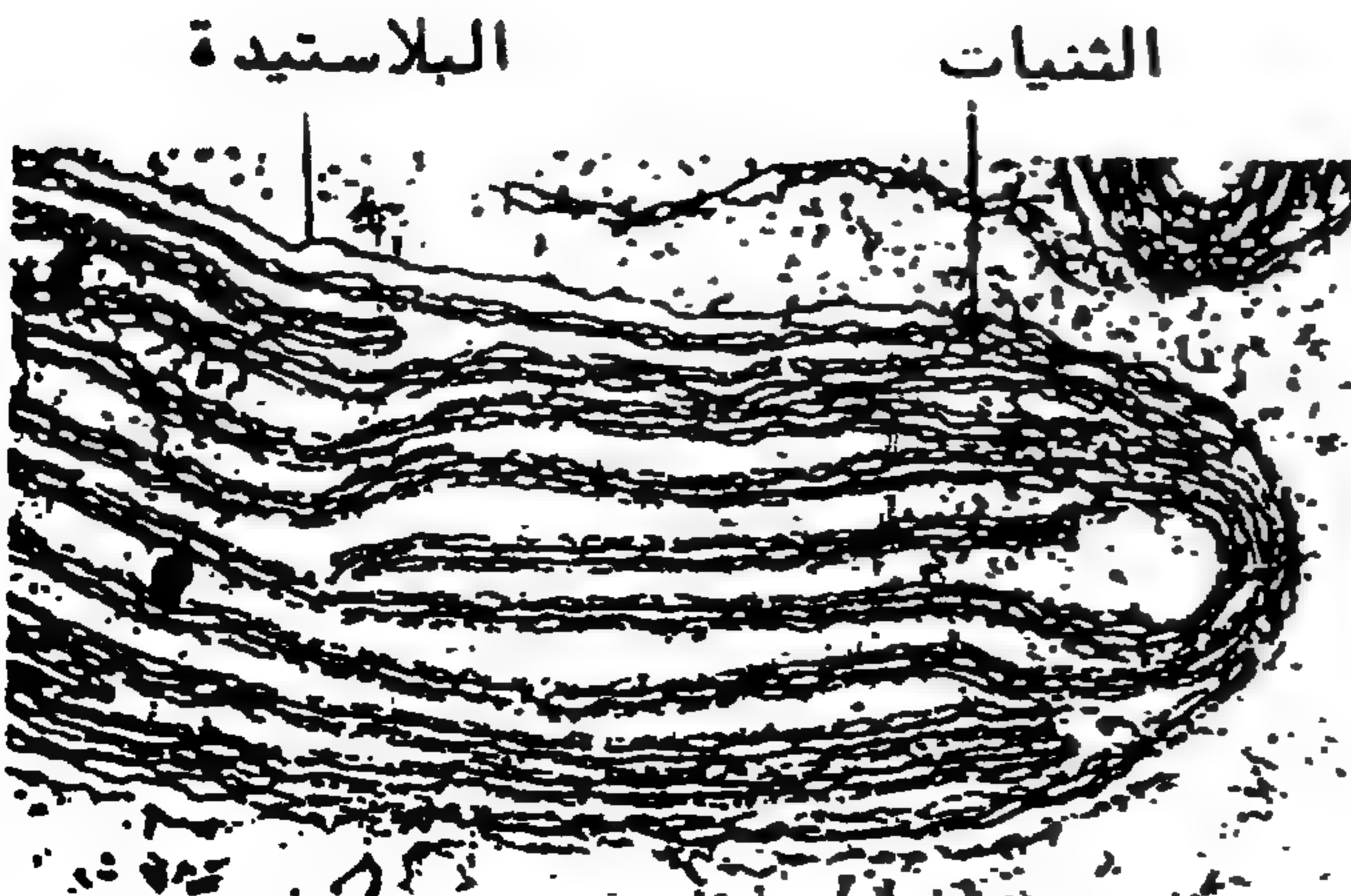
ان التمثيل الضوئي في الأحياء ذوات النواة الحقيقية الممثلة للضوء وانتاج الطاقة في ذوات النواة الحقيقية عموماً يتم في عضيتين غشائيتين Membrane-bound organelles وهما البلاستيدات الخضراء Chloroplasts (شكل ٣-٤) ، والميتوكوندريا Mitochondria (شكل ٤-٤) . وكلا العضيتين (البلاستيدات الخضراء والميتوكوندريا) يحتويان على نظم غشائية داخلية خاصة ، فالنظام الغشائي الخاص بالبلاستيدات يسمى Thylakoid وهي عبارة عن ثنيات كثيرة تحتوى بين طياتها صبغات التمثيل الضوئي Photosynthesis pigments ونظام انتقال الالكترونات Electron transport system ومراكز التفاعل الضوئي Photochemical reaction centers .

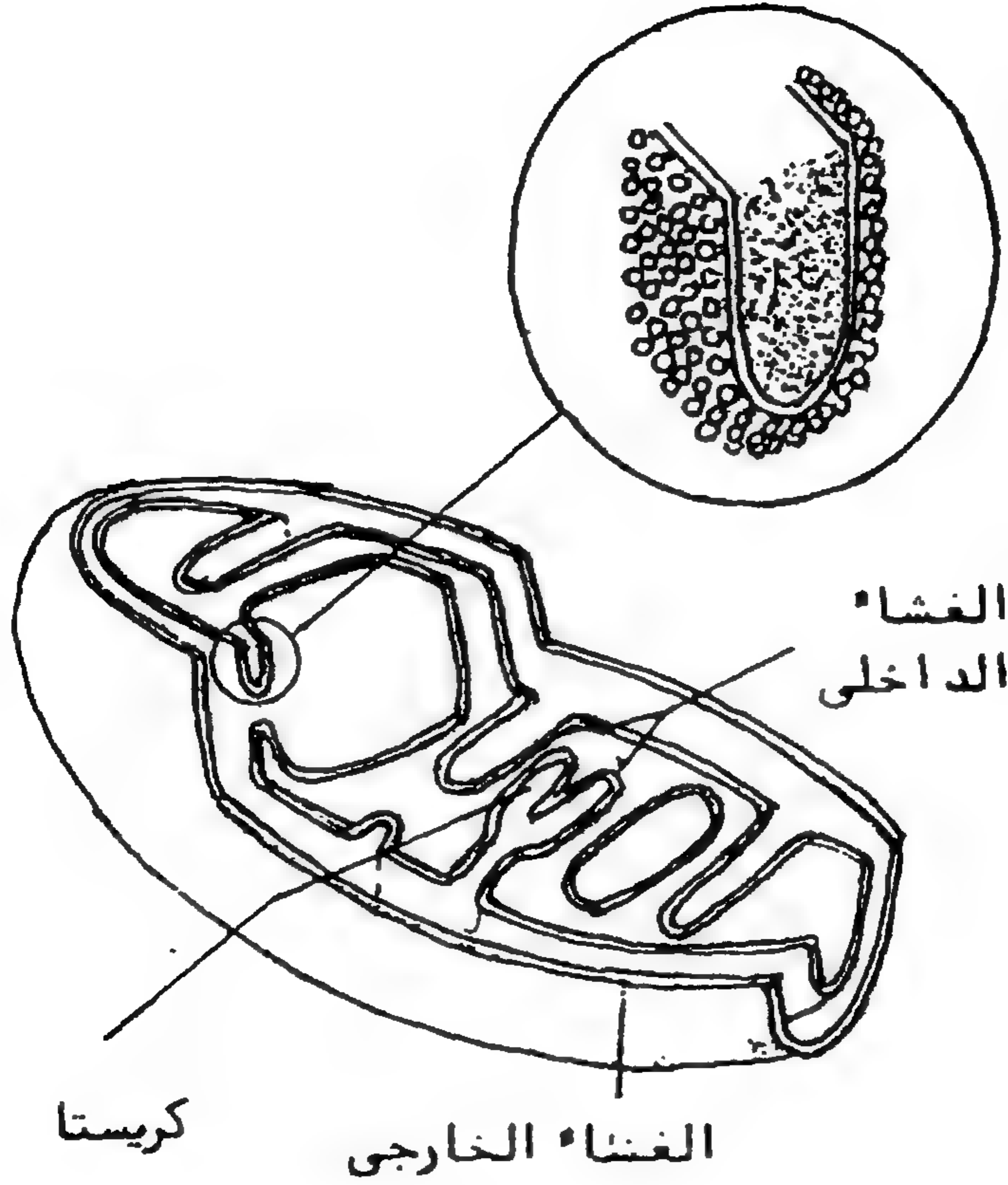
أما النظام الغشائي للميتوكوندريا فيسمى Cristae وهو أيضاً عبارة عن ثنيات متعددة تحتوى بين طياتها على نظام انتقال الالكترونات التنفسي Electron transport system والانزيمات الخاصة به .

شكل ٤-٢ : رسم تخطيطي لأحداث
الهضم داخل الخلية - أ - أجسام
جولجي • ب - ليسوسومات ناتجة
عن أجسام جولجي • ج - تنساول
الغذاء (خلية بكتيرية) باللتهايم
أو الابتلاع عند سطح الخلية وعند ها
يحاط الغذاء بالكامل بالغشاء
الخلوي • د - تكوين فجوة غذائية
حدیثة • هـ - اندماج الفجوة
الغذائية مع ليسوسوم • و - هضم
محتويات الفجوة الغذائية بواسطة
الانزيمات المحللة الناتجة عن
الليسوسومات •



شكل ٤-٣ : صورة بالمجهر الالكتروني
للبلاستيدة الخضراء في الطحلب
Ochromonas danica حيث توجد الثنيات
thylakoid التي يتم فيها التمثيل
الضوئي •





شكل ٤-٤ : رسم تخطيطى للميتوكوندريا موضحا التركيب الداخلى المعقد للغشاء الداخلى Cristae والتسى تحتوى على نظام انتقال الالكترونات التنفس .

خامسًا : المواد الوراثية في حقيقية النواة The protists genome

تمثل النواة المركز الأساسي للمواد الوراثية في الكائنات ذات النواة الحقيقية ، ولكن النواة ليست المركز الوحيد لهذه المواد الوراثية ، ولكن جزء صغير من المواد الوراثية (ولكنه هام جدا من الناحية الوظيفية) يوجد في الميتوكوندريا و (في الكائنات ذات القدرة على التمثيل الضوئي) البلاستيدات الخضراء . ونظرا للاختلافات الجوهرية في استنساخ Replication المادة الوراثية أو نسخ وترجمة المعلومات Transcr-ption and Translation في كل من المواد الوراثية النووية من جهة ، والمواد الوراثية العضوية Organelle genome (الموجودة في الميتوكوندريا والبلاستيدات الخضراء) من جهة أخرى ، فسيتم هنا مناقشة النوعين من المواد الوراثية بصورة منفصلة :

١- المادة الوراثية النووية : Nuclear genome

توجد المواد الوراثية النووية في النواة Nucleus موزعة على عدد محدود من التركيبات المميزة المعروفة باسم الكروموسومات Chromosomes وكل كروموسوم ذو تركيب خيطي . . ويحتوي على :

(١) الحمض النووي دي أوكس ريبونيكليك Deoxyribonucleic acid والذي يرمز له عادة بالرمز دن أ DNA في صورة مستقيمة Linear وهو المركب الذي يحتوي على المعلومات الوراثية في ترتيب قواعد النيتروجينية الأربعة : الجوانين والآدينين والثيمين والسيتوزين (وهي نفس القواعد الموجودة في دن أ DNA الخاص بالكائنات ذات النواة البدائية Procaryotes) .

(٢) بروتينات قاعدية خاصة تسمى الهستونات Histones .

(٣) بروتينات غير هستونية تقوم بدور خاص في تنظيم نشاط المورثات Genes المختلفة .

فى الخلايا غير المنقسمة تكون النواة فى مرحلة Interphase فتظهر النواة محاطة بالغشاء النووى Nuclear membrane (شكل ٤-٥) ، يحتوى على عدد كبير من الثقوب ، ويكون كل كروموسوم فى حالة استطالة ولا يزيد فى هذه الحالة عن ٢٠-٣٠ نانوميتر . لذلك فعادة ما يصعب تمييزه بالمجهر الضوئى . أما النواة فانه من الممكن رؤيتها بالمجهر الضوئى دون صبغة حيث يصل قطرها الى عدة ميكرومترات الا فى ذوات النواة الحقيقية الصغيرة الحجم ، وهذه يلزم صبغها بصبغات خاصة حتى يمكن رؤية النواة فيها .

والثقوب الموجودة فى الغشاء النووى هامة ، اذ تسمح بتبادل الجزيئات الكبيرة بين داخل وخارج النواة ، فمثلا مكونات الريبوسومات تصنع داخل النواة ولكنها تباشر وظيفتها فى السيتوبلازم خارج النواة .

وعلاوة على الكروموسومات التى تشاهد فى النواة غير المنقسمة كثيرا ما يشاهد جزء خاص يسمى بالنوية Nucleolus وهى تصبغ بلون مختلف عن باقى النواة لاحتوائها على نسبة عالية من الحمض النووى ريبونيكليك Ribonucleic acid والذى يرمز له بالرمز (رن أ) RNA . والنوية هى مركز بناء ال RNA الريبوسومى ribosomal RNA والذى يرمز له بالرمز ررن أ r RNA وهو مكون أساسى من مكونات الريبوسومات .

وعلى أى حال فان النوية تختفى أثناء الانقسام ، كما يحتفى أيضا الغشاء الخلوى . وكلاهما يتكون ثانيا بعد تمام الانقسام .

ان مضاعفة المواد الوراثية ثم انقسامها عند تكوين خليتين من خلية واحدة هى عملية دورية معقدة تسمى بالانقسام غير انمباشى Mitosis أو الانقسام الاختزالى Reduction division تلك الأخيرة تتم فقط فى الخلايا الجنسية فقط تمهيدا لاعداد الجاميطات gametes التى يتم التزاوج بينها لتكوين الزيجوت (اللاحة) Zygote .

شكل ٤-٥ صورة بالمجهر الالكتروني
لنواة خلية فأر مجهزة بطريقة
Freezing etching حيث تم
ازالة جزء الغشاء الخارجى لتظهر
الثقوب من الداخل (أ) كما
تظهر أيضا الثقوب من الخارج (ب)



شكل ٤-٦ : تحضير مصبوغ لكروموسومات
احدى الخلايا حقيقية النواة فيما
قبل انقسام الخلية انقساما غير مباشر .



Mitosis

أ. الانقسام غير المباشر :

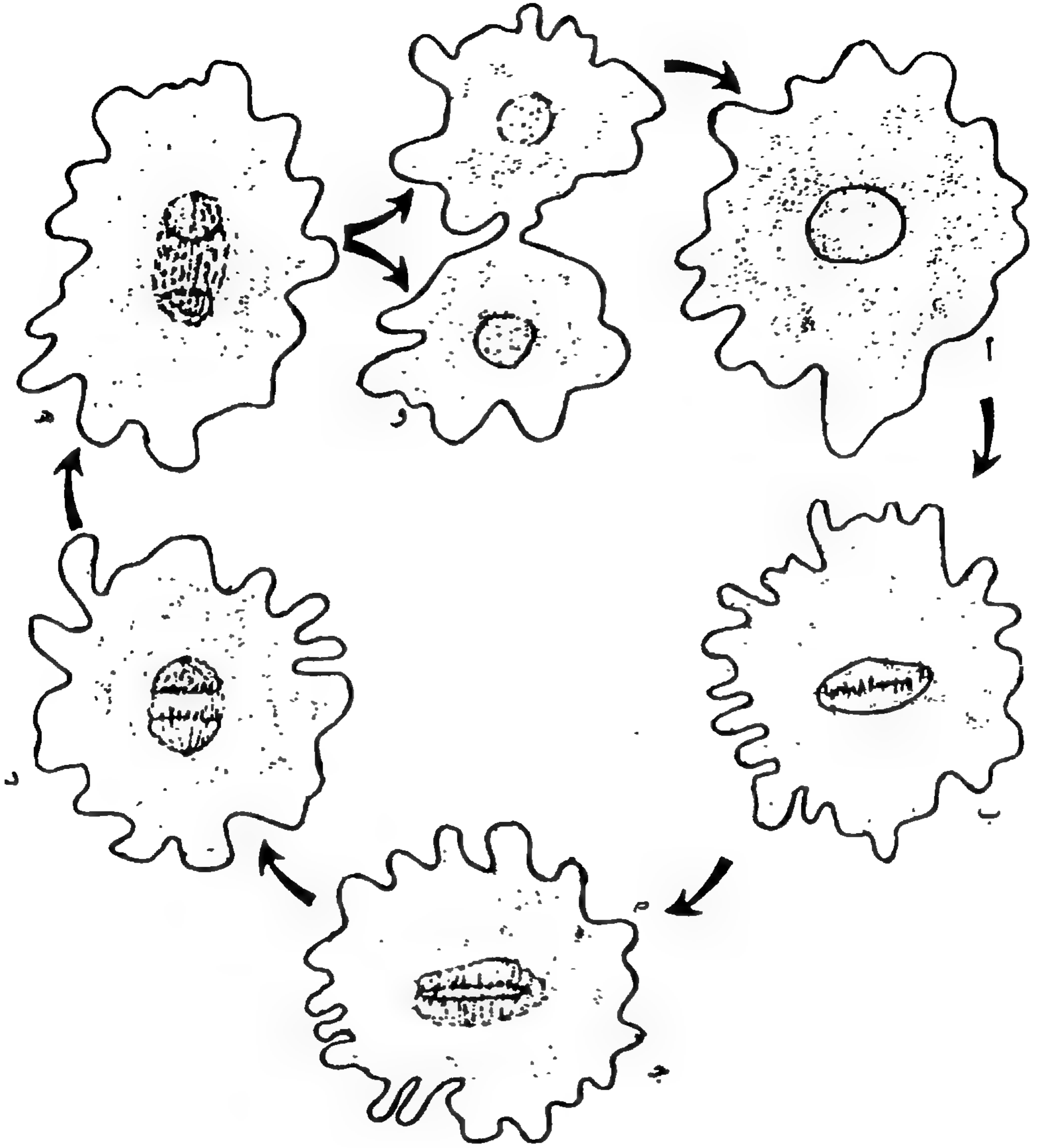
تحدث عملية استنساخ ال DNA الكروموسومي في المرحلة التمهيديّة في النواة الكاملة المسماة Interphase nucleus ، وعندما تبدأ عملية الانقسام غير المباشر Mitosis فان الكروموسومات تتلّولب في تركيبات كثيفة Compact قصيرة يمكن رؤيتها بالمجهر الضوئي (شكل ٤-٦) وتحتوي خلايا كل كائن حي على عدد محدد من الكروموسومات كصفة أساسية مميزة له .

ويصحب انكماش Shortening الكروموسومات تكوين مركزيين طرفيين للنواة . . . يتكون بينهما عدد من الأنايبب الرفيعة Microtubular structure على صورة مغزل Spindel يسمى جهاز الانقسام غير المباشر Mitotic apparatus .

. . . . ويصحب تكوين جهاز الانقسام غير المباشر هذا اختفاء الغشاء النووي واختفاء النوية وتترتب الكروموسومات بعد ذلك في وسط المغزل Spindel وينقسم كل كروموسوم طوليا الى نستختين طبق الأصل تسمى كل منهما بالكروماتيد Chromatide وتعرف هذه المرحلة باسم ال Metaphase ثم تفصل الكروماتيدات وتتجه كل كروماتيد الى أحد المركزيين الطرفيين على أناييبب المغزل الدقيقة ثم يختفي المغزل بعد ذلك . ويبدأ تكوين الغشاء النووي ويختفي المركز الطرفي في المرحلة النهائية Terminal phase من الانقسام غير المباشر (شكل ٤-٧) .

ب. الانقسام الاختزالي : Meiosis or Reduction division

الانقسام الاختزالي هو العملية التي يتم بها التغير من حالة ازدواجية الكروموسومات Diploid الى حالة احادية الكروموسومات Haploid ففي حين أن عملية الانقسام غير المباشر Mitosis تؤدي الى مضاعفة عدد الكروموسومات اني النضعف في بداية الانقسام بحيث



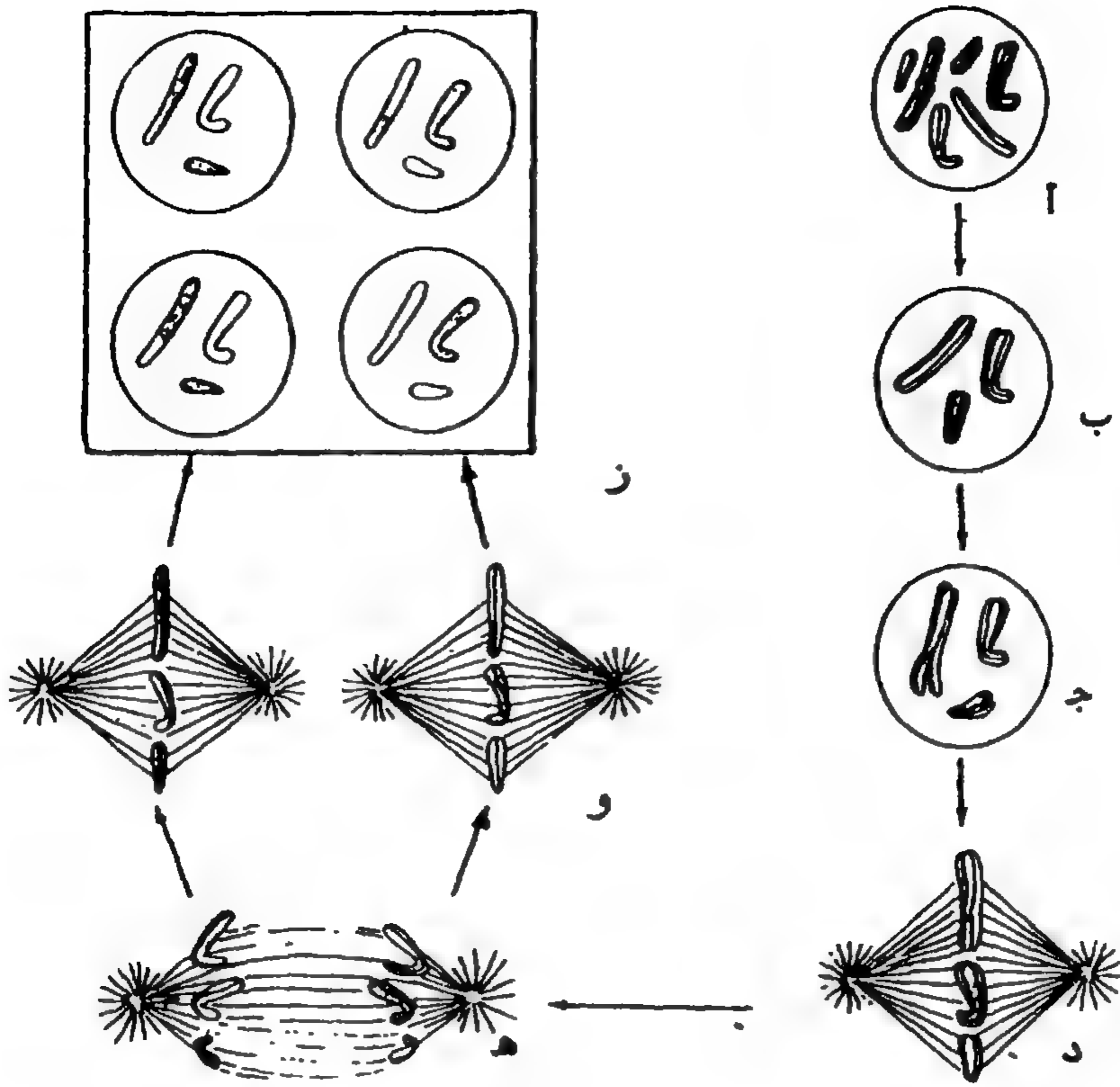
شكل ٤-٧ : دورة انقسام الخلايا (الأميبا) حقيقية النواة .

- أ - تتضاعف مكونات الخلية من الأحماض النووية والبروتينات .
- ب - تنكش الكروموسومات وتتلولب .
- ج - يبدأ الغشاء النووي في الاختفاء وتصطف الكروموسومات على وسط المغزل الذي تكون حديثا .
- د - تنفصل الكروماتيدات وتتجه الى طرفي المغزل .
- هـ - يبدأ تكوين نواتين في طرفي الخلية .
- و - ينتهي الانقسام بتكوين الغشاء النووي للأنوية الجديدة وانفصال الخليتين .

تحتوى الخلايا الناتجة بعد الانقسام على نفس العدد من الكروموسومات قبل الانقسام . نجد أن عملية الانقسام الاختزالي Meiosis تؤدي الى اختزال عدد الكروموسومات فى الخلايا الناتجة بعد الانقسام الى نصف عدد الكروموسومات قبل الانقسام . وهذه الخلايا الناتجة عن الانقسام الاختزالي هى الخلايا الموجودة فى حالة أحادية المجموعة الكروموسومية (الصبغية) Haploid وهى التى تكون الجاميطات Gametes أو ال germ cells (شكل ٤-٨) .

توجد الكروموسومات فى الخلايا مزدوجة الكروموسومات Diploids فى أزواج متشابهة Homologs باستمرار . وأثناء الانقسام الاختزالي يتجه كروموسوم واحد من كل زوج الى جاميطة من الجاميطات المتكونة . ويتم ذلك نتيجة تحرك كروموسوم واحد من كل زوج على المغزل الى كلا من المركزين الطرفيين وتصبح الخليتين الناتجتين عن الانقسام محتويتان على نصف عدد الكروموسومات وغالبا ما يتم انقسام ثانى من نوع الانقسام غير المباشر فى كلا الخليتين المذكورتين الناتجتين عن الانقسام الاختزالي وتتكون أربع خلايا Haploid كل منها تحتوى على نصف عدد الكروموسومات فى الخلية ال Diploid الأصلية .

والانقسام الاختزالي الذى يؤدي الى انتاج الخلايا أحادية الكروموسومات Haploid هام جدا لاستمرار الأجناس المختلفة التى تتكاثر بالتزاوج ، وإذا اشتركت هذه الخلايا ال Haploid فى التزاوج والاختصاص مباشرة فانها تسمى جاميطات Gametes . ولكن فى عدد كبير من الأحياء الدقيقة تنمو الخلايا ال Haploid نموا خضرىا قبل التحول الى جاميطات . وفى عدد من الأحياء الدقيقة تتحول خلايا ال Haploid الى جراثيم Spores (وهى أطوار كامنّة للكائنات الحية تلعب دورا هاما فى استمرار الكائنات فى الطبيعة لقدرتها على مقاومة الظروف غير المناسبة) . . وعند توفر الظروف البيئية المناسبة تثبت هذه الجراثيم مكونة الخلايا التى تنمو خضرىا Haploid ، ومكونة جاميطات تتحد لتكون كائنات مزدوجة المجموعة الكروموسومية Diploid .



شكل ٤-٨ : رسم تخطيطي لخطوات الانقسام الاختزالي في خلية
مزدوجة المجموعة الكروموسومية .

- أ - ثلاث أزواج من الكروموسومات (الصبغات) .
- ب - يتزاوج كل كروموسومين متشابهين .
- ج - يحدث تبادل للمواد الوراثية بين كل كروموسومين متشابهين .
- د - تصطف أزواج الكروموسومات عند منتصف المغزل بعد اختفاء الغشاء النووي .
- هـ - تنفصل أزواج الكروموسومات عن بعضها وتتجه إلى قطبي المغزل .
- و - يتكون مغزلين جديدين في كلا الطرفين تمهيداً لانقسام غير مباشر .
- ز - تتكون ٤ أنوية كل منها تحتوي على نصف عدد الكروموسومات في النواة الأصلية .

وفي الكائنات الدقيقة المختلفة تحدث اختلافات كثيرة في هذه العمليات وسيتم شرح نماذج لذلك في الأجزاء التالية من هذا الباب . وبالرغم من الاختلافات العديدة بين الكائنات الدقيقة في هذه العمليات فانها كلها تؤدي الى نفس النتيجة ، وهي تبادل أجيال أحادية الكروموسومات (N) Haploid وأجيال ثنائية الكروموسومات ($2N$) Diploid .

تختلف الكائنات الدقيقة ذات النواة الحقيقية اختلافا كبيرا في درجة الاختلاف الواضحة بين الجنسين . فبينما نجد أن بعض الفطريات لا تتميز فيها الذكور عن الاناث . الا أن بعض الفطريات الأخرى تنتج جاميطات مذكرة مختلفة تماما عن الجاميطات المؤنثة Sexual dimorphism . فمثلا تكون الجاميطات المذكرة متحركة ، بينما تكون الجاميطات المؤنثة غير متحركة . وعند اتحاد الجاميطات المختلفة جنسيا يتكون الزيجوت Zygote والمحتوى على عدد من الكروموسومات $2N$. وعادة ما يطلق لفظ Diploid على الكائن الحي الذي يقضي معظم دورة حياته على الحالة الذي تكون خلاياه فيه مزدوجة الكروموسومات Diploid . ويطلق على الكائن الحي لفظ Haploid اذا كان يقضي معظم دورة حياته على الحالة الذي تكون خلاياه فيه أحادية الكروموسومات Haploid (N) .

والتكاثر الجنسي Sexual reproduction شائع الحدوث في دورة حياة النبات والحيوان . وهو الطريقة الوحيدة للتكاثر في الفقاريات وعدد كبير من اللافقاريات . بينما تتكاثر كثير من اللافقاريات بطرق لا جنسية ، وكذلك كثير من النباتات الراقية (مثل التكاثر بالعقل) . . . أما في البروتستات Protists فان التكاثر الجنسي نادرا ما يكون اجباريا Obligatory في دورة الحياة . بل ان عددا كبيرا من الكائنات الدقيقة ذات النواة الحقيقية ليس لها طور جنسي في دورة حياتها . وحتى في الأنواع التي لها طور جنسي في دورة حياتها فان التكاثر الجنسي قد يندر الحدوث . ولكن تكوين كائنات جديدة عادة ما يتم بطرق غير جنسية مثل التكاثر بالانقسام البسيط أو الجراثيم اللاجنسية .

٢- المواد الوراثية العضية (غير النووية)

Organellar genomes

توجد المواد الوراثية (DNA) العضية (غير النووية) في كل من البلاستيدات الخضراء والميتوكوندريا في صورة حلقية وغير مرتبطة مع الهستونات .

ولذلك فإن المواد الوراثية DNA العضية للكائنات ذات النواة الحقيقية تشبه لحد كبير المواد الوراثية DNA الموجودة في الخلايا ذات النواة البدائية Procaryotes رغم أنها ذات حجم أصغر كثيرا من تلك الأخيرة .

يوجد في كل عضية نسخ عديدة من نفس المواد الوراثية ، فمثلا تحتوى البلاستيدات الخضراء على حوالي ٤٠ - ٥٠ نسخة من جزيى DNA كما تحتوى كل عضية على أنظمة بناء البروتين من نسخ وترجمة Transcription & Translation للمعلومات الوراثية حيث تحتوى كلا من البلاستيدات الخضراء والميتوكوندريا على ريبوسومات عضية خاصة (70S) أصغر من الريبوسومات السيتوبلازمية (80S) . وهذه الريبوسومات العضية تشبه الريبوسومات الموجودة في ذات النواة البدائية ، كما أن بناء البروتين في عضيات الخلية مثل الميتوكوندريا والبلاستيدات الخضراء يمكن تثبيطه بمشبطات بناء البروتين لذوات النواة البدائية والعديمة التأثير على تثبيط البروتين على الريبوسومات 80S مثل الكلورامفينيكول Chloramphenicol وغيرها من مشبطات بناء البروتين الخاصة بتثبيط بناء البروتين على ريبوسومات 70S . لذلك فإن الميتوكوندريا والبلاستيدات الخضراء تبدو مشابهة جدا للكائنات ذات النواة البدائية . كما أن الميتوكوندريا بصفة خاصة لها صفة أخرى تميزها عن باقى مكونات الخلية الأخرى ، وهى أنها تنتج نتيجة انقسام الميتوكوندريا الأصلية . وهذا يحدث أيضا فى البلاستيدات الخضراء الخاصة بالعديد من الطحالب ، إلا أن البلاستيدات الخضراء الخاصة بالنباتات الراقية تتكون من أنظمة أبسط منها تسمى البلاستيدات البدائية Proplastids .

وهذا التشابه بين الكائنات ذات النواة البدائية Procaryotes وتلك العضيات الداخلية لذوى النواة الحقيقية Eucaryotes (وهما الميتوكوندريا والبلاستيدات الخضراء) يمثل خطأ هاما فى مراحل تطور هذه الأعضاء ، إذ أن هذا التشابه يقترح أن هذه العضيات نشأت فى الخلية كنتيجة لدخول كائنات ذات نواة بدائية فى داخل الكائنات ذات النواة الحقيقية ليعيشا معا فى حالة تكافل Symbiosis ثم فقدت الأولى (ذات النواة البدائية) وظائف هامة بمرور الزمن ، وأصبحت غير قادرة على الاستقلال بمعيشتها ، كما أن الثانية (ذات النواة الحقيقية) قد أصبح اعتمادها على الأولى أساسيا لتوليد الطاقة أو للتمثيل الضوئى . وبذلك يكون قد تولد نوع من التعاون الاجبارى . Obligatory symbiosis

سادسًا: نظام الأنابيب الدقيق Microtubular system

وهى عنصر تركيبى هام فى الكائنات ذات النواة الحقيقية من حيث قيامها بعدة وظائف هامة . والأنبوبة الدقيقة Microtubule عبارة عن أسطوانة متناهية الصغر قطرها حوالى ٢٠-٣٠ نانوميتر، وذات أطوال مختلفة وتتكون جذرها من وحدات بروتينية يصل وزنها الجزيئى الى ٥٠.٠٠٠ الى ٦٠.٠٠٠ ويمكن أن تتركب فى صورة أشعة .

ونظام الأنابيب الدقيق هذا يقوم بالوظائف الآتية :

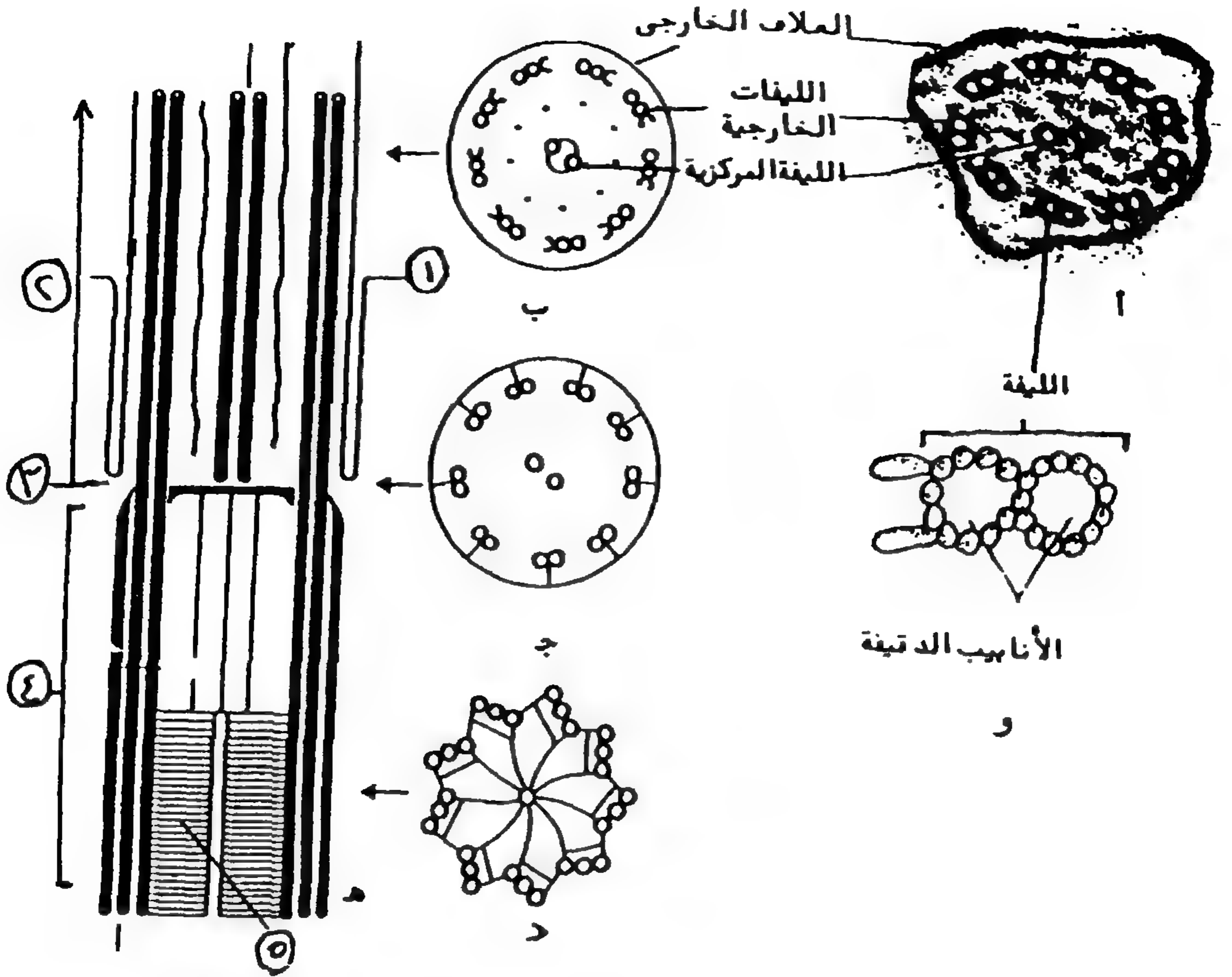
- أ- تكوين شبكة المغزل التى يتم عليها الانقسام وانتقال الكروموسومات الى المراكز الطرفية .
- ب- تلعب دورا فى تكوين وصيانة الشكل العام لبعض الخلايا ذات النواة الحقيقية .
- ج- تلعب دورا هاما فى أجهزة الحركة فى ذات النواة الحقيقية مثل الأسواط Flagella والأهداب Cilia . فالهدب أو السوط يتكون من امتداد للغشاء الخلوى يحتوى على تسعة

أزواج أنابيب دقيقة خارجية محيطة بزوج أنابيب في مركز السوط أو الهدب (شكل ٤-٩) . الزوج المركزي من الأنابيب يتكون من قاعدة قرب سطح الخلية ، أما الأزواج التسعة المحيطة فهي تنشأ من جسم مركزي يسمى Centriole والذي يتكون أيضا من تسعة أزواج من الأنابيب الدقيقة Microtubules . وفي بعض ذوات النواة الحقيقية يشترك الجسم المركزي Centriole في تكوين المغزل Spindle الذي يشترك في الانقسام غير المباشر ، وذلك لوجود هذه الأجسام المركزية قرب قطبي المغزل .

سابعاً : أجهزة تنظيم الضغط الأسموزي

Osmoregulation systems

تعيش معظم الأحياء الدقيقة حرة Free living في بيئات مائية ذات ضغط أسموزي أقل كثيرا من الضغط الأسموزي داخل الخلية . ونظرا لأن الغشاء الخلوي منفذ للماء (وليس لكل العناصر الذائبة فيه) بحرية . لذلك فان هناك ميلا لدخول الماء الى الخلية باستمرار حتى يتعادل الضغط الأسموزي ... لذلك فان الخلية قد تنتفخ الى أن يحدث الانفجار الأسموزي Osmotic lysis مما لم يكن هناك نظاما آخر لمعادلة استمرارية دخول الماء الى الخلية في كثير من البروتستات (مثل الفطريات والطحالب) يمنع حدوث الانفجار الأسموزي بوجود الجدار الخلوي الصلب Cell wall . ولكن في بعض البروتستات (مثل البروتوزوا) لا يوجد جدار خلوي . ولكن يوجد نوع خاص من الفجوات يسمى الفجوات المنقبضة Contractile vacule تعمل كطلبة خلوية تقوم بجمع الماء من الخلية على فترات ثم ضعه للخارج . وإخراج الماء للخارج هو جزء من وظيفة الإخراج Exocytosis التي تقوم بها الخلية . والجزء الآخر من وظيفة الإخراج يشمل إخراج الفضلات الصلبة ، وهي أيضا تسمى Exocytosis .



شكل ٤-٩ : تركيب أسواط حقيقية النواة :

- أ - صورة بالمجهر الإلكتروني لقطاع عرضي في سوط حقيقية النواة .
- ب - رسم تخطيطي لقطاع عرضي لا يوضح كيفية ترتيب الأزواج التسعة من الأنابيب الدقيقة حول زوج الأنابيب المركزية في الأسواط والأهداب .
- ج - رسم تخطيطي لقطاع عرضي لا يوضح ترتيب الأنابيب الدقيقة عند غشاء الخلية .
- د - رسم تخطيطي لقطاع عرضي لا يوضح ترتيب الأنابيب الدقيقة في الجسم القاعدي للسوط داخل جسم الخلية .
- هـ - رسم تخطيطي لقطاع طولي في السوط من الجسم القاعدي للسوط ثم غشاء الخلية ثم السوط الخارجى .
- ١ - الغشاء الخلوي . ٢ - السوط فوق السطح القاعدي .
- ٣ - السطح القاعدي للسوط .
- ٤ - الجسم القاعدي للسوط .
- ٥ - الأسطوانة .
- و - رسم توضيحي لترتيب البروتينات المكونة للألياف وهي عبارة عن نوعين من البروتينات مرتبة بالتبادل في صورة حلزونية حول محور اللبنة .

ثامناً: الحركة السيتوبلازمية Cytoplasmic streaming

بفحص العديد من الكائنات الدقيقة ذات النواة الحقيقية وجد أن السيتوبلازم في معظم هذه الكائنات يتحرك حركة داخلية نشطة تسمى Cytoplasmic streaming وتؤدي هذه الحركة الداخلية السيتوبلازمية دوراً هاماً في نشاطات الخلية مثل :

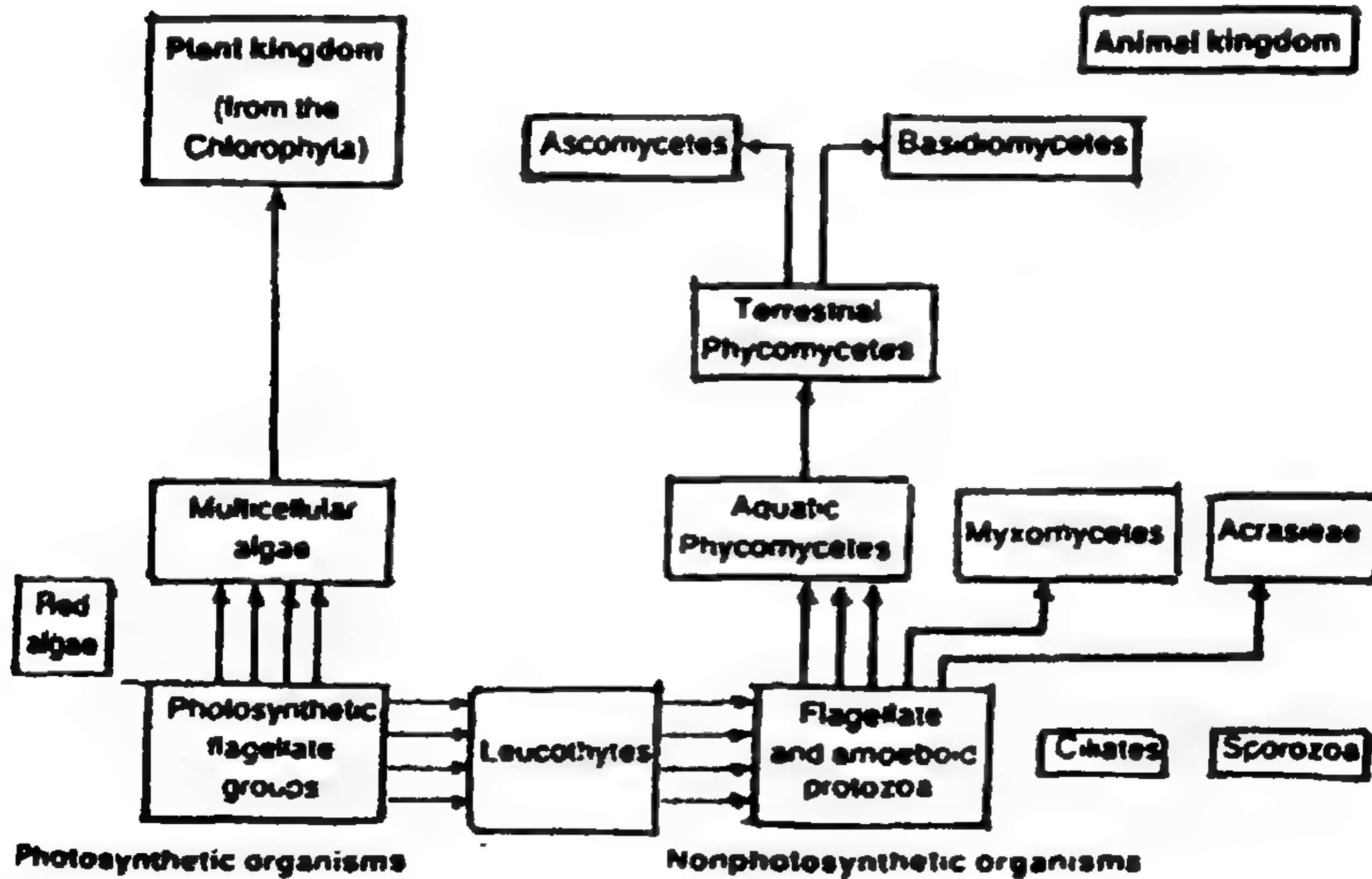
- ١- ترتيب البلاستيدات الخضراء في خلايا الطحالب عند تعرضها للضوء .
- ٢- تركيز الميتوكوندريا في مواقع معينة من الخلية .
- ٣- الدور الذي تلعبه أجسام جولجي في النقل الداخلي .
- ٤- تحرك الكروموسومات أثناء عمليات الانقسام المباشر والانقسام الاختزالي .
- ٥- حركة الفجوات المنقبضة لطرد الماء الزائد عن حاجة الخلية .

كما أن الحركة السيتوبلازمية تؤدي إلى حركة خلايا البروتستيا التي ليس لها جدار خلوي على سطح البيئات الصلبة كما في حركة الأميبا والفطريات اللزجة .

هذا . . . وسنخصص الفصول الثلاثة التالية لمناقشة كلا من الطحالب والبروتوزوا والفطريات كلا على حدي ، ولابد لنا أن نعترف سلفاً بأن فصلاً واحداً لا يكفي لتغطية كل مجموعة من هذه المجموعات البيولوجية الضخمة . فالطحالب وصل عددها إلى أكثر من ٢٠٠٠٠ نوع والبروتوزوا وصل عددها إلى أكثر من ٢٠٠٠٠ نوع والفطريات وصل عددها إلى أكثر من ٨٠٠٠٠ نوع .

وسنقتصر — فقط — هنا على عرض أهم الصفات لكل مجموعة مع التمثيل كلما كان ذلك ممكناً . وللحصول على معلومات أكثر عن تلك الكائنات لابد من الرجوع إلى بعض المراجع المتخصصة لأي منها (أنظر قائمة المراجع) . ولسوء الحظ أنه لا يوجد كتاب واحد شامل للمجموعات

الثلاث . وما يزيد الأمر سوءاً أن كلا من علماء النبات وعلماء الحيوان قد استخدما مصطلحات علمية Terminology مختلفة لتسمية أجزاء أو أشياء بعينها في بعض الكائنات التي اختلفت عليها الآراء من حيث كونها تتبع المملكة النباتية أو المملكة الحيوانية . علاوة على ذلك فإن المعاملة التقسيمية لبعض الكائنات مثل الطحالب البيضاء Leucophytes وبعض الطحالب السوطية والفطريات اللزجة بواسطة كلا من علماء النبات وعلماء الحيوان قد أهملت بعض صفات القرابة الهامة بين هذه المجموعات ، وسنحاول في الباب الحالي علاوة على الأبواب الثلاثة التالية دراسة العلاقات التطورية بين هذه الكائنات . والشكل (٤-١٠) يوضح العلاقة المقترحة لتطور الكائنات المختلفة من السوطيات الممثلة للضوء Photosynthetic flagellates حسب ستانير وآخرين ١٩٧٦ .



شكل ٤-١٠ : علاقة تطورية افتراضية بين مجموعات الأحياء الحقيقية النواة . الأسهم بين المستطيلات المختلفة توضح اتجاه التطور . حينما وجد أكثر من سهم بين مستطيلين فإن ذلك يدل على عدة مراحل تطورية بين المجموعتين . أما المستطيلات غير المتملة بأسهم فهي تحتوي على أحياء علاقتها التطورية غير واضحة في الوقت الحاضر .

الوضع التقسيمي للأحياء الدقيقة حقيقية النواة

لقد أشرنا في مقدمة هذا الكتاب الى أن تقسيم الكائنات الحية وانتسابها قد مر بمراحل مختلفة عديدة . .

فقد توصل الانسان منذ القدم الى أنه يمكن تقسيم كل الكائنات الحية الى نوعين من الكائنات (الحيوانية والنباتية) ، واستمر ذلك الى أن نشر داروين كتابه سنة ١٨٥٩م عن التطور وأسماء (أصل الأنواع) Origin of species فأصبح تقسيم الكائنات مبنيا على مدى القرابة والرقى . وتوصل الكثير من العلماء الى اكتشاف كائنات دقيقة تشبه النباتات من ناحية وتشبه الحيوانات من ناحية أخرى والطحالب كائنات ذات نواة حقيقية تستطيع القيام بالتمثيل الضوئى ، ولكنها لا تتميز فيها سيقان أو أوراق أو جذور علاوة على ذلك فالكثير منها متحرك حركة نشطة ، وهذه استقر بها الحال لزم من طويل فى المملكة النباتية ، أما الفطريات فرغم أنها حتى لا تستطيع القيام بالتمثيل الضوئى فقد وضعت فى المملكة النباتية لعدم وجود الحركة النشطة فى معظمها ووجود جدار خلوى مميز . أما البروتوزوا ، وهى تتميز بالحركة النشطة وعدم وجود الكلوروفيل فقد ضمت للمملكة الحيوانية . هذا مع وجود تداخلات واضحة بين المجموعات الثلاثة ، كما سنرى فى الفصول الثلاثة التالية .

وقد أدى عدم اقتناع عدد كبير من البيولوجيين وعدم رضاهم عن تقسيم بعض الكائنات الدقيقة لكلا الملكتين الى قيام أحد تلاميذ داروين وهو E. Haeckle باقتراح ملكة ثالثة سماها ملكة البروتستا لتشمل كل الكائنات الدقيقة الطحالب والبروتوزوا والفطريات بما فيها البكتيريا ، ثم فصلت البكتيريا بعد ذلك عن الفطريات لأسباب جوهرية كما ذكرنا فى ملكة ذوات النواة البدائية .

وسنخصص الفصول الثلاثة التالية للبروتستا (الخامس للطحالب) ، (السادس للبروتوزوا) ، (السابع للفطريات) .

الفصل الخامس

الطحالب The Algae

الطحالب عبارة عن مجموعة كبيرة من الأحياء (أكثر من ٢٠.٠٠٠ نوع) تختلف كثيرا في المظهر الخارجى Morphological وفى وظائف الأعضاء Physiological .

تحتوى جميع الطحالب على الكلوروفيل Chlorophyll الذى يقوم بالتمثيل الضوئى المصاحب لانتاج الأكسجين . ورغم أن كلمة طحالب Algae حتى وقت قريب - كانت تشمل الطحالب التابعة للبروتستس Protists (الطحالب ذات النواة الحقيقية Eucaryotic algae) والطحالب التابعة للكائنات ذات النواة البدائية Proca-ryotic algae (وكانت تسمى بالطحالب الخضراء المزرقه Blue green algae) أما الآن فان هذه الطحالب توضع فى مملكة ذوات النواة البدائية Kingdom procaryotae وتسمى بالسيانو بكتيريا cyanobacteria أو البكتيريا الخضراء المزرقه Blue green bacteria تتميزز لها عن الطحالب ذات النواة الحقيقية) .

وبالرغم من أن عددا من أعشاب البحر Sea weeds تنمو فى الطول الى أكثر من خمسين مترا - خارجة بذلك عن نطاق هذا العلم كما عرفناه فى الباب الأول الا أن معظم الطحالب ذات طبيعة مجهرية مما يبرر وضع هذه الكائنات (الطحالب) ضمن أقسام الأحياء الدقيقة . ومع ذلك فان أعشاب البحر هذه كثيرا ما يصعب تمييزها عن غيرها من النباتات غير الطحلبية مثل الحزازيات Mosses والسرخسيات Ferns .

ولوضع خط فاصل بين الطحالب وغيرها من النباتات الشبيهة كالسرخسيات Ferns والحزازيات Mosses فان الصفة التى تميز جميع الطحالب هو قدرتها على انتاج جراثيم Spores أو جاميطات Gametes داخل نظام وحيد الخلية ، بينما حتى أبسط الحزازيات Mosses تحمل الخلايا الجنسية داخل تراكيب محاطة بالجدران

الخلوية لمديد من الخلايا Multicellular walls .

وعلى أى حال فإن الطحالب تقسم - مبدئيا - بناءً على الصفات الخلوية (وليس على أساس خواص الكائن كله) مثل التركيب الكيميائى للجدار الخلوى - أن وجد - والمواد العضوية المخزنة فى الخليصة وطبيعة صبغة التمثيل الضوئى وطبيعة وترتيب الأسواط على سطح الخلايا المتحركة . ويمكن تقسيم الطحالب بناءً على هذه الصفات التى ست أقسام رئيسية كما هى موضحة فى الجدول (١-٥) .

الشكل الظاهرى للطحالب Morphology of Algae

يختلف التركيب الخضرى Vegetative Structure للطحالب باختلافا كبيرا . وأبسط الطحالب هى الطحالب وحيدة الخلية التى تنقسم بالانقسام الثنائى البسيط Binary fission ، وحتى بين هذه الطحالب وحيدة الخلية توجد اختلافات كبيرة فى الشكل والحجم ، وفى حالات عديدة لا تنفصل الخليتين الأختين الناتجتين على الانقسام مباشرة ، بل تظلان ملتصقتين ، وتستمر عملية الانقسام لتكوين كتلة من الخلايا الملتصقة تسمى Coenobium ، ولكن إذا انفصلت الخلايا بعد الانقسام دون الأبتعاد عن بعضها ، حيث تظل متماسكة بمسواد جيلاتينية Mucilage فتسمى فى هذه الحالة Tetrasporal . كما تتكون أحيانا تجمعات من الخلايا المتحركة فى صورة مستعمرات تتعاون فيما بينها (ولو بدرجة محدودة) شبه الكائن متعدد الخلايا . كما أن بعض الطحالب تكون خيوطا Filamentous مقسمة بجدر عرضية Septate أو غير مقسمة Nonseptate كما قد تكون هذه الخيوط متفرعة Branched أو غير متفرعة Unbranched .

جدول ٥-١ المجموعات الرئيسية للمطحالب وصفاتها

اسم المجموعة	الصبغات		تركيب الحدار الحلوى	طبيعة مواد التخزين	عدد و نوع الأسواط	التركيب
	كلوروفيل	صبغات أخرى - خاصة				
١- الطحالب الخضراء D. chlorophyta	أ + ب	-	سليولوز	نشأ	بصفة عامة سوط ليس متشابهين تماماً بكل خلية	وحيدة الخلية - متعددة الأنوية - حيطي يشبه الدياتومات وبمسها متعدد الخلايا .
٢- الطحالب البنية الوجعيلية D. Euglenophyta	أ + ب	كاروتينات خاصة و زانثوفيل	لا يوجد	باراميلوم أو دهن	سوط أو سوطين أو ثلاثة أسواط للخلية الواحدة	كلها وحيدة الخلية .
٣- الطحالب السيرية Dinoflagellates D. Pr. tryophyta	أ + ح	كاروتينات خاصة	سليولوز	نشأ أو زيت	سوطين غير متماثلين في الطول أو التركيب	غالباً وحيدة الخلية . القليل منها خيطي .
٤- الطحالب الذهبية Chrysophytes والدياتومات Diatoms D. Chrysophyta	أ + ح	كاروتينات خاصة	الحدار تكون من نضجين يغطي أحدهما الآخر ، وغالباً يحتوي على السليكا . بعضها ليس له جدار .	ليوكوسين وزيست	سوطين في أوضاع مختلفة .	وحيدة الخلية أو متعددة الأنوية أو خيطية الشكل .
٥- الطحالب البنية D. Phaeophyta	أ + ح	كاروتينات خاصة	سليولوز والجنسن	لا مينارين ودهن	سوطين غير متماثلين في الطول . .	عددة الخلايا تشبه النباتات . .
٦- الطحالب الحمراء D. Rhodophyta	أ	فايكوبليينات Phycobillins	سليولوز	نشأ	لا توجد أسواط	وحيدة الخلية أو متعددة الخلايا تشبه النباتات

الحركة Motility

تتحرك بعض الطحالب بواسطة الأسواط Flagella وتسمى السوطيات Flagellates أو الطحالب السوطية . أما الأهداب Cilia فهي غير معروفة في الطحالب . والطحالب السوطية البسيطة مثل اليوجلينا لها سوط واحد طرفي . أما الطحالب السوطية التابعة لقسم الطحالب الخضراء Chlorophyta فتحتوى على سوطين أو أربعة أسواط متساوية الطول وتخرج كلها من أحد أطراف الخلية أما قسم الطحالب المعروفة باسم السوطيات Dinoflagellates فهي مجموعة من الطحالب تحتوى على سوطين غير متساويين في الطول وينشآن من نقط مختلفة من سطح الخلية . ويتكون السوط من ليفتين مركبتيين طوليتين محاطتين بتسعة ليفات مزدوجة مرتبة على هيئة حلقة وتحاط الليفات كلها بغلاف سيتوبلازمي متصل بالغشاء الخلوي وتتحد الليفات الاحدى عشر كلها بالحبيبة القاعدية التي ينشأ منها السوط . وفي حالات عديدة تكون الطحالب غير متحركة في حالتها الخضرية ولكنها تكون جاميطات متحركة Motile gametes . وبالرغم من أن الدياتومات Diatoms خالية من الأسواط ، إلا أن العديد منها متحرك بطريقة مازالت تحت الدراسة حتى الآن . لكن يبدو أن الدياتومات تفرز مواد لزجة من ثقب خاصة تسمح للدياتومات بالحركة الزاحفة .

الجدار الخلوي Cell wall

يختلف التركيب الكيميائي للجدار الخلوي في الطحالب المختلفة اختلافا كبيرا . ففي عدد كبير من الطحالب يتكون الجدار الخلوي أساسا من السليلوز ولكنه كثيرا ما يعدل بوجود البكتين Pectin (عديد حامض الجلكتورونيك) والزيلانات Xylans والمانانات Mannans وحامض الالجينيك Alginic acid وحامض الفيروسينيك Fucinic acid وغيرها ، وفي بعض الطحالب يتم تقوية الجدار الخلوي بواسطة كربونات .

الكالسيوم ، وتسمى الطحالب في هذه الحالة Calcareous or Coralline وأحيانا يوجد الشيتين Chitin في جدار بعض الطحالب .

أما طحالب الدياتومات فتحتوى في جدرانها الخلوية على السليكا Silica بالإضافة الى عديدات التسكر Polysaccharide والبروتين Protein وحتى بعد موت الدياتوم وتحلله تبقى السليكا مؤكدة انها هى المادة التى تكسب الجدار الخلوى للدياتومات صلابته . ووجود السليكا فى الدياتومات جعلت من هذا النوع من الطحالب أفضل الحفريات Fossils اذ تظل الجدر الخلوية للدياتومات لفتترات زمنية طويلة دون أن تتغير .

تغذية الطحالب:

ان القدرة على التمثيل الضوئى Photosynthesis جعلت الكثير من الطحالب ذات احتياجات غذائية بسيطة خاصة ، ففي وجود الضوء تستطيع كثير من الطحالب النمو فى بيئة من أملاح غير عضوية فقط . ولا ينطبق ذلك على جميع الطحالب بأى حال فالكثير من الطحالب لها احتياجات غذائية خاصة . ويعتبر احتياج الطحالب لفيتامين ب ١٢ Vitamin B¹² صفة شائعة بين الطحالب . ومصدر هذا الفيتامين فى الطبيعة قد يكون من البكتيريا التى تعيش مع الطحالب فى نفس البيئة .

ولا تعنى القدرة على التمثيل الضوئى فى الطحالب عدم استخدام المركبات العضوية كمصدر أساسى للكربون والطاقة ، فالكثير من الطحالب ذات قدرات مختلفة فى التمثيل الغذائى والضوئى Mixed type of metabolism . وعلى سبيل المثال الطحلب الأخضر Chlamydomonas لا يستطيع استعمال CO₂ كمصدر وحيد للكربون رغم قدرته على التمثيل الضوئى . لذلك فهذا الطحلب يعتمد فى نموه على وجود أملاح عضوية مثل الأسيتات Acetate كمصدر للكربون ، وذلك نظرا لعدم قدرة هذا الطحلب اختزال CO₂ الى مركبات خلوية عضوية رغم قدرته على

التمثيل الضوئي .

كما أن عددا من الطحالب التي تنمو في الضوء مستعملة CO_2 كمصدر للكربون تستطيع أن تنمو في الظلام مستعملة عددا من المركبات العضوية . . لذلك فهذه الطحالب تستطيع التحول من التمثيل الضوئي الى الاعتماد على مركبات عضوية في تغذيتها اعتمادا على وجود الضوء أو غيابه .

والطحالب ذات الجدار الخلوي الكامل تعتمد على امتصاص المواد العضوية من البيئة في الظلام . ولكن يوجد عدد من الطحالب وحيدة الخلية Unicellular ليس لها جدار خلوي كليا أو جزئيا . ومثل هذه الطحالب لها القدرة على ابتلاع Phagocytize بكتيريا أو كائنات دقيقة أخرى ، ولذلك فهي من النوع المبتلع Phagotrophic مثلها في ذلك مثل بعض أنواع البروتوزوا Protozoa . لذلك فمن الخطأ اعتبار الطحالب كائنات مثلة للضوء فقط . بل على العكس فمن ذلك فعدد كبير من الطحالب وحيدة الخلية تعتمد في تغذيتها على طرق مماثلة للكائنات التابعة للقسمين الآخرين (الفطريات والبروتوزوا) من البروتستا Protists .

وفيما يلي نعرض أهم مجموعات الطحالب الست المذكورة في الجدول (١-٥) .

Chlorophyta

أولاً : الطحالب الخضراء

تعيش الطحالب الخضراء Green Algae في ظروف مختلفة ، فهي توجد في المياه العذبة والمالحة وفي التربة وعلى الصخور والخشب الرطب وقلق الأشجار . وتتميز معظم الأنواع التي تعيش في المياه العذبة بأنها توجد مغمورة في الماء بينما تتميز الأنواع التي تعيش في المياه المالحة بقربها من الشواطئ ، وتكون عادة مثبتة بالصخور تعيش معظم الطحالب الخضراء معيشة حرة Free Living والقليل

يعيش معيشة متطفلة . . . ونظرا لاحتواء هذه الطحالب على كلوروفيل أ ، ب في تركيبات مماثلة لتلك التركيبات Grana الموجودة في النباتات الراقية ، فهناك اعتقاد بأن هذه الطحالب هي الأصل الذي نشأت منه النباتات الراقية . ويوجد الكلوروفيل داخل بلاستيدات خضراء .

تختلف الطحالب الخضراء عن بعضها البعض اختلافا كبيرا في الشكل والحجم . كما أن بعضها وحيد الخلية Unicellular مثل طحلب كلاميد وموناس Chlamydomonas والبعض يكون مستعمرات من خلايا متشابهة وتقوم كل خلية مستقلة عن الخلايا الأخرى بجميع وظائف الحياة المختلفة كما في طحلب باندورينا Pandorina وقد تخصص بعض خلايا المستعمرة وتفقد الخلايا فرديتها وتتناسق أنشطة الخلايا في المستعمرة لدرجة أن المستعمرة كلها تتحرك في المياه نتيجة تحريك أسواط كل الخلايا بصورة متناسقة كما في طحلب الفولفوكس Volvox . كما تكون بعض الطحالب الخضراء ذات تركيب خيطي مقسم مثل طحلب سبيروجيرا Spirogyra ومعظم الطحالب الخضراء ذات جدر خلوية تتكون أساسا من السيليلوز ، وكثيرا ما يوجد نسبة من البكتين في الجدر الخلوية للطحالب ذات الجدر الخلوية . قليل من الطحالب الخضراء ليس له جدر خلوية ، أما البروتوبلاست فهو مماثل للبروتوبلاست في البروتستا فيوجد الغشاء الخلوي مغلفا للبروتوبلازم بمكوناته المختلفة . وتركيب الغشاء الخلوي مماثل لما سبق الإشارة إليه في وحدة الغشاء في الفصل الرابع . وأهم مكونات البروتوبلازم وهي النواة وهي ذات غشاء نووي واضح بها نوية واحدة أو أكثر وبها شبكة كروماتينية — كما يحتوى البروتوبلازم بلاستيدة واحدة كبيرة أو عدة بلاستيدات صغيرة — وقد تكون البلاستيدات الخضراء على درجة من الكبر تمكن من رؤيتها بالعين المجردة . وكل بلاستيدة لها غشاء خارجي وثنيات داخلية تسمى ثنيات التمثيل الضوئي Photosynthetic lamella or Thylakoids (شكل ٤-٣) ويوجد الكلوروفيل في هذه الثنيات . وهذه الثنيات تترتب في تركيبات خاصة تسمى بذيرات Grana . ومثل تلك التركيبات لا توجد في أنواع الطحالب الأخرى ولكنها موجودة في النباتات الراقية وغشاء البلاستيدة — بما فيه من ثنيات التمثيل الضوئي مركب بطريقة تشبه تركيب الغشاء

الخلوى (والذى سيلي ذكره فى الفصل التاسع عند شرح غشاء الأحياء ذات النواه البدائية) من طبقة فوسفوليبيدات يكون فيها الجزء المحب للماء متجها الى سطحى الغشاء وطبقة الدهن (غير المحبة للماء Hydrophobic) متجهة لداخل الغشاء ويكون البروتين متعاوناً مع الغشاء فى الطبقة غير المحبة للماء . ويعتقد بأن الكلوروفيل (مادة غير محبة للماء Hydrophobic) يكون مرتبطاً مع البروتين مع طبقة الدهن (غير المحبة للماء) .

ويحتوى البروتوبلازم أيضاً على الميتوكندريا وهى أجهزة بناء الطاقة . يغشاء الميتوكندريا — أيضاً — يشبه الغشاء الخلوى ، ويتم فى ثنياته Cristae عمليات بناء الطاقة وكلا من البلاستيدات الخضراء والميتوكندريا على درجة ما من الاستقلالية فهما يحتويان على الريبوسومات الخاصة بهما والحمض النووى دى أوكس ريبونيكليك (دن أ DNA) الخاص بهما أيضاً .

وتخزن الطحالب الخضراء الغذاء فى صورة نشا . ويتكون النشا فى البلاستيدات الخضراء على أجسام خاصة تسمى البيروينويدات Pyrenoids .

يوجد بالبروتوبلاست عادة فجوات عصارية تشبه الموجودة فى خلايا النباتات الراقية ، وهى تبدأ صغيرة وعديدة ثم تتجمع وتكبر لتكون فجوة واحدة كبيرة عادة ، كما يحتوى السيتوبلازم على ريبوسومات من نوع (80S) التى تستخدم لبناء البروتينات المختلفة فى الخلية .

يوجد فى بعض الطحالب المتحركة من الناحية الأمامية قسرب قواعد الأسواط بقعة عنة Stigma حساسة للضوء . وتوجه حركة الأسواط نحو مركز الضوء ، ويختلف تركيبها فى الطحالب المختلفة .

كما يوجد فى بعض الطحالب الخضراء المتحركة فراغات منقبضة Contractile vacuules ويوجد عادة فراغان منقبضان بكل خلية يقع كل منهما تحت قاعدة سوط . ينقبض الفراغان بالتبادل ويحدث الانقباض

فجائيا ولكن يحدث التمدد تدريجيا . ويعتقد أن وظيفة الفراغات الملتبضة هو الاخراج حيث تجمع نواتج التحول الغذائي للخلية وتطردها للخارج .

وقد تكون الطحالب الخضراء متحركة أو غير متحركة ، ويتم الحركة في خلايا الطحالب الخضراء المتحركة بواسطة سوطين متساويين لكل خلية ، وفي بعض الطحالب مثل طحلب كلاميد وموناس وطحلب فولفوكس تتصل الأسواط بجهاز حركي خاص Neuromotor apparatus موجسودة تحت كل سوط يتكون من حبيبة تعرف بالبليفا روبلاست Blepha- roplast .

التكاثر اللاجنسي Asexual reproduction

تتكاثر الطحالب الخضراء لا جنسيا اما بالنمو الخضري أو بالجراثيم اللاجنسية ويتم النمو الخضري بانقسام الخلايا الفردية انقساما مباشرا ثم انفصالها أو بانفصال أجزاء من الطحلب ثم نمو كل منها على حدة . وقد تنفصل أجزاء الطحلب طبيعيا أو نتيجة لتيارات الماء القوية .

أما التكاثر بالجراثيم اللاجنسية فيتم بتكوين إما جراثيم سوطية متحركة Zoospores كما في طحلب كلاميد وموناس أو جراثيم غير متحركة Aplanospores كما في طحلب كلوريللا Chlorella . ويعتبر تكوين الجراثيم المتحركة صفة بدائية . وتتكون الجراثيم اللاجنسية داخل خلايا خضرية عادية . وأحيانا داخل خلايا متخصصة تعرف بأكينيس الجراثيم السوطية Zoosporagium . وتتميز الجراثيم غير المتحركة بوجود جدار مميز لها عن جدار الخلية الأم . وقد يكون جدار الجرثومة سميكاً فتصبح في هذه الحالة ساكنة .

كما أن بعض الخلايا الخضرية تتحول الى تركيبات مشابهة للجراثيم فيزداد سمك جدرانها ويزداد محتواها الغذائي وتعرف بالأكينيتيس Akinetes وتتميز الأكينيتيس بأن جدرانها غير منفصلة عن جدار الخلية الأم ، مختلفة بذلك عن الجراثيم غير المتحركة .

وقد تثبت الأكيننتيس انباتا مباشرا فتعطى طحالب جديدة وقد ينقسم البروتوبلاست فيها قبل الانبات ليعطى جراثيما متحركة .

التكاثر الجنسي : Sexual reproduction

يتم التكاثر الجنسي في الطحالب الخضراء الأكثر بدائية بواسطة جاميطات متحركة متشابهة . ويسمى التزاوج بمثل تلك الجراثيم التي لا يمكن التمييز بينها باسم Isogamy . أما التكاثر الجنسي فـ في الأنواع الأرقى من الطحالب الخضراء فيتم التزاوج بين جاميطات متحركة ذات احجام مختلفة . والجاميطات الأصغر هي الجاميطات المذكرة ، أما السجاميطات الأكبر فهي المؤنثة . ويسمى التزاوج في هذه الحالة بالتزاوج غير المتماثل Anisogamy . وإذا حدث التزاوج بين جاميطة مذكرة متحركة وجاميطة مؤنثة غير متحركة (وتعرف في هذه الحالة بالبيضة) باسم Oogamy وقد يتم التزاوج بين جاميطات تنتج من طحلب واحد ، ويعرف هذا النوع من الكائنات بأنه متماثل الثالوس Homothalic . وقد لا يحدث التزاوج الا بين جاميطيتين ناتجتين من طحلبين مختلفين ، ويعرف هذا النوع من الطحالب بأنه متباين الثالوس Heterothallic . ويرجع تباين الثالوس الى عدم التوافق الوراثي بين جاميطات نفس الطحلب . ويتم الاخصاب باندماج الأنوية الناتجة من كل من الجاميطتين المتحدتين في ازواج .

والزيجوت الناتج عن جاميطتين متحركتين يكون متحركا لفترة ما ثم يفقد أسواطه ويفرز جدارا . أما في التزاوج البيضي حيث الجاميطـة المؤنثة غير متحركة فان الزيجوت الناتج لا يتحرك مطلقا . وقد يكون الزيجوت الناتج رقيق الجدار فينبت بعد فترة قصيرة من الاخصاب . وقد يكون سميك الجدار فيسكن لفترة قبل الانبات . يقوم الزيجوت الناضج بعملية التمثيل الضوئي فيسبب تجمع كثير من الغذاء الذي يخزن به . ويخزن الغذاء في الزيجوت الصغير السن في صورة نشا . . . ثم يتحول الغذاء المخزن الى زيت . وعادة ما يكون نضج الزيجوت مصحوبا بتكوين

صبغات كاروتينية بكميات كافية تجعل لون البروتوبلاست أحمر أو برتقالي محمر . وفي أول مراحل انبات الزيجوت يحدث انقسام اختزالي .

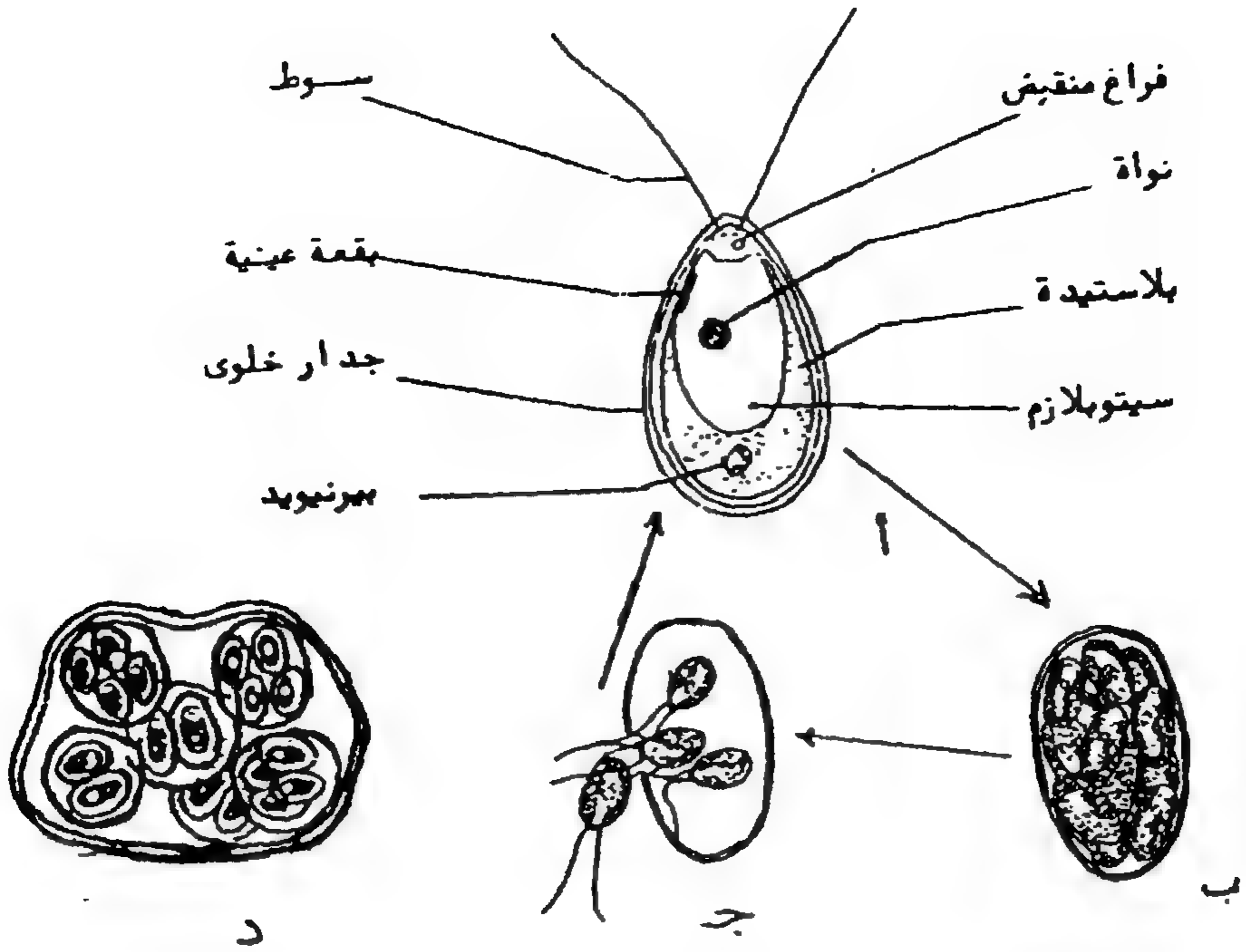
ومن أجناس الطحالب الخضراء كلاميد وموناس *Chlamydomonas* — باندورينا *Pandorina* — فولفوكس *Volvox* سبيروجيرا *Springyra* — ألفا *Ulva* — اسيتوبيلاريا *Acetabularia* .

طحلب كلاميد وموناس *Chlamydomonas*

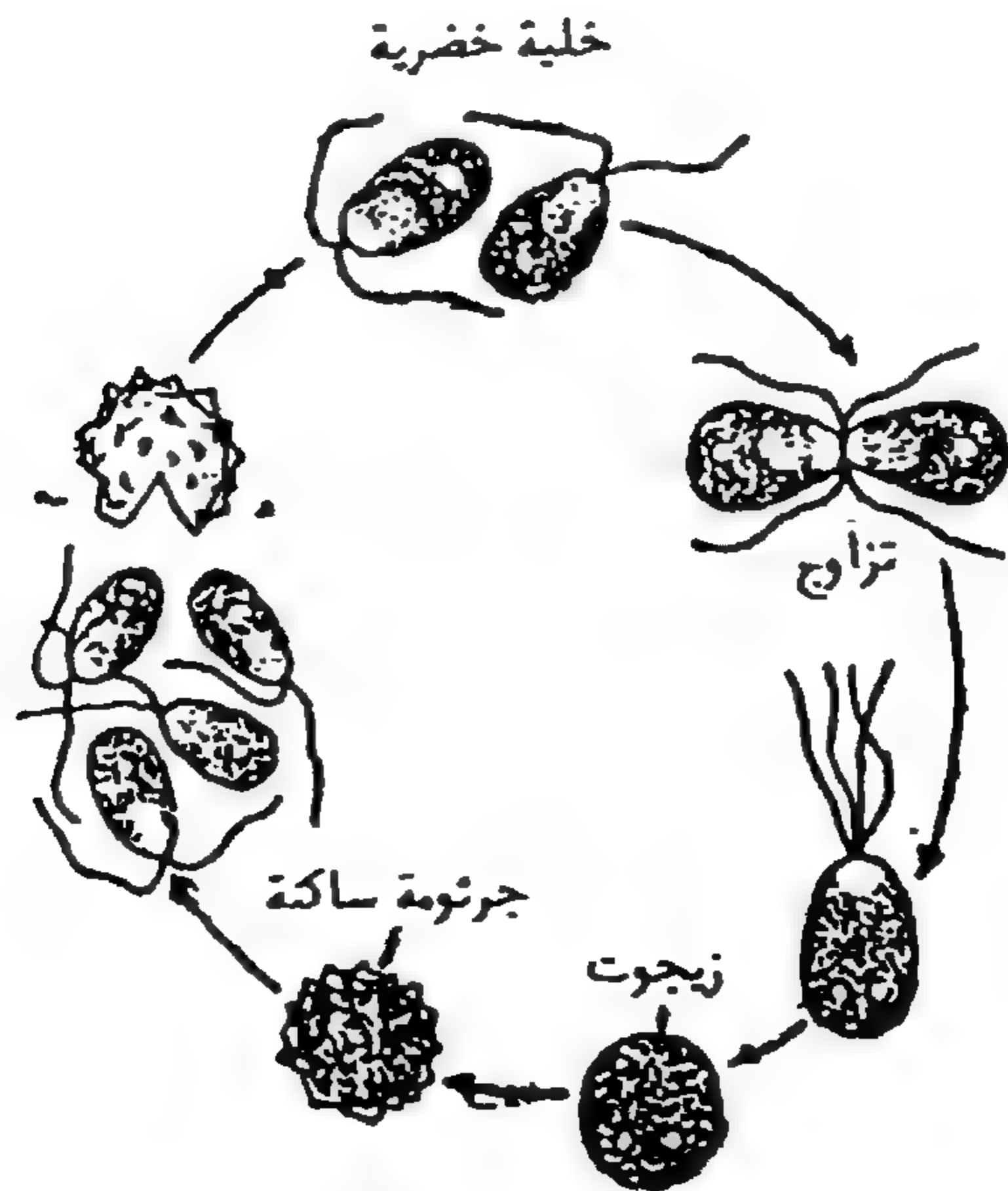
يعيش طحلب كلاميد وموناس في المياه العذبة والتربة الرطبة ، ويكثر في المياه الغنية بالأمونيا ، والطحلب وحيد الخلية *Unicellular* . ويختلف شكل الخلية من كروي الى بيضاوي الى كمثرى الشكل — يحتوى جدار الخلية على السليلوز والبكتين — كما تحتوى خلية الطحلب على بلاستيدة واحدة ذات أشكال امانجمية أو كأسية ، وقد تحتوى البلاستيدة على بيرينويد واحد أو أكثر ، ويوجد بالسيتوبلازم فراغان منقبضان عند قاعدة كل سوط . وتوجد بقعة عينية *Eye spot* فى موضع ثابت يتوقف على النوع . وتتركب البقعة العينية من عدسة شفافة محدبة الوجهين . ويوجد بأحد وجهيها صفيحة مقعرة ملونة . وتحتوى كل خلية على نواة حقيقية . وتوجد النواة فى تجويف البلاستيدة فى حالة الأنواع ذات البلاستيدة الكأسية الشكل . شكل (٥-١) .

يبدأ التكاثر اللاجنسى بضعف حركة الطحلب ثم فقده لاهدايه ثم ينقسم البروتوبلاست الى قسمين فأربعة اقسام . وقد يستمر الانقسام ليعطى ثمان أو ستة عشرة وحدة يتكون لكل منها جدار خاص وأسسواط وجهاز حركى ، وتصبح جراثيما سوطية تتحرر بانفجار أو ذوبان جدران الخلية الأم . والجراثيم السوطية تشبه خلايا الطحلب العادية الا انها أصغر حجما .

يحدث — أحيانا فى ظروف غير ملائمة — أن لا تتكون أهداب للوحدات الناتجة عن الانقسام وتتغلظ جدرها كما يتغلظ جدار الخلية



شكل ١-٥ : طحلب الكلاميد وموناس
 أ - قطاع طولى فى حلية الطحلب
 ب ، ج - التكاثر اللاجنسى
 د - الطور البالميللى



شكل ٢-٥ : خطوات التكاثر الجنسي لطحلب الباندورينا

الأم . ثم ينقسم بروتوبلاست كل وحدة على وحدة عدة مرات . ويعرف هذا الطور من الانقسام بالطور البالميللي *Palmella stage* . وعند تحسن الظروف تتكون أسواط للوحدات الصغيرة متحولة الى جراثيم سوطية تنطلق وتنمو مكونة طحالب جديدة .

يحدث التكاثر الجنسي في بعض الأنواع بين جاميطات متحركة متماثلة *Isogamy* أو بين جاميطات متحركة غير متماثلة في الحجم *Anisogamy* . بعض أنواع الكلاميد وموناس متماثل الثالوس *Homothallic* وبعضها متباين الثالوس *Heterothallic* .

طحلب الباند ورينا

يشبه طحلب الباند ورينا طحلب كلاميد وموناس من حيث التركيب إلا أن الجزء الأمامي هو الجزء العريض والذي يوجد به السوطان والبقعة العينية والفراغان المنقبضان .

تتوقف المستعمرة عن الحركة قبيل التكاثر اللاجنسي ثم تغطس في قاع البركة وينتفخ غلافها الجيلاتيني ويصبح لينا . ثم تنقسم كل خلية من خلايا المستعمرة الأم لتكون مستعمرة بنوية صغيرة تحتوى عادة على ١٦ خلية . ثم تتحرر المستعمرات البنوية من المستعمرة الأم ثم تكبر في الحجم .

يحدث التكاثر الجنسي بين جاميطات مختلفة الحجم وتنتج الزيغوت الذي يستريح لفترة ، ثم ينقسم اختزاليا ليعطى أربع مستعمرات بروتوبلاستات . . . تنضج واحدة منها فقط لتكون جرثومة سوطية تسبح لفترة ثم تفرز جدارا جيلاتينيا وتستقر وتنقسم لتكون مستعمرة جديدة . (شكل ٥-٢) .

طحلب الفولفوكس *Volvox*

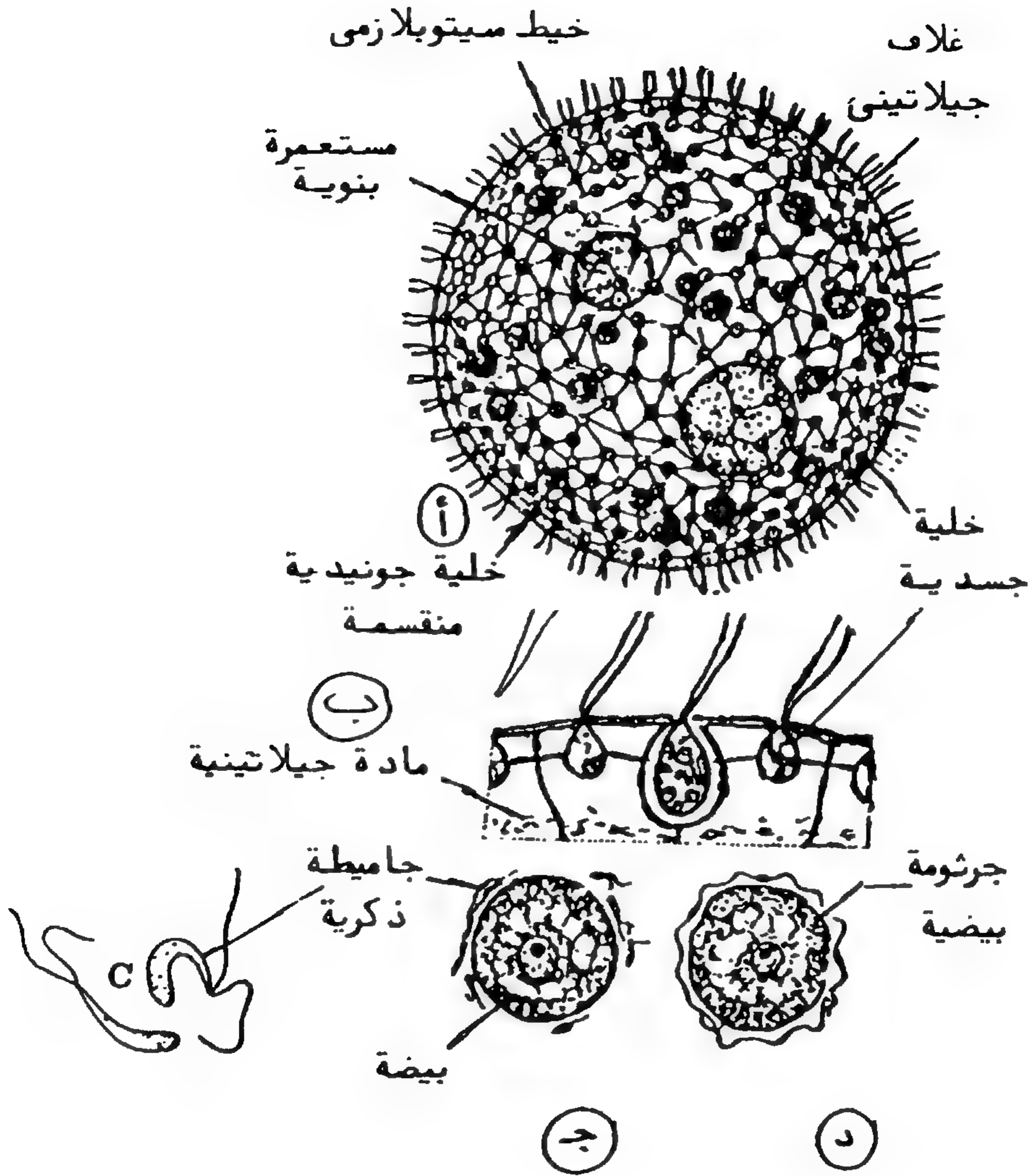
يعيش طحلب فولفوكس في المياه العذبة ، ويكثر - عادة - في

الربيع ويختفى في الصيف ، ويتواجد بقية العام في صورة جرثومية بيضية .

وطحلب الفولفوكس أكثر تعقيدا من طحلب الكلاميد وموناس حيث تتعاون خلايا طحلب الفولفوكس لتكون مستعمرات . وتصل درجة التعاون بين الخلايا الى درجة تفقد كل خلية معها فرديتها . ويتراوح عدد الخلايا في المستعمرة الواحدة بين ٥٠٠ في بعض الأصناف الى ٥٠٠٠٠ في أصناف أخرى . وكل خلية تحاط بغلاف جيلاتيني ، ولذلك فرغم انفصال الخلايا عن بعضها الا أنها تظل ملتصقة عن طريق المادة الجيلاتينية المحيطة بالخلايا (شكل ٥-٣) وتتناسق أنشطة الخلايا في المستعمرة لدرجة أن المستعمرة كلها تتحرك في المياة كما لو كانت كائن واحد نتيجة تحريك أسواط كل الخلايا بصورة متناسقة . وتتكون المستعمرات الصغيرة من خلايا متماثلة ، ولكن عند كبر المستعمرة تظهر بعض الخلايا المتخصصة التي تقوم بوظائف تكاثرية . معظم خلايا المستعمرة هي الخلايا الخضرية الجسدية Somatic cells وهي المسئولة عن التغذية والحركة للمستعمرة . أما الخلايا الأخرى المسئولة عن التكاثر فهي أكبر حجما من الخلايا الخضرية الجسدية .

ويتم انتاج مستعمرات فولفوكس Volvox جديدة اما جنسيا أولا جنسيا ولكن معظم خلايا الفولفوكس غير قادرة على تكوين مستعمرات ، ولكن عندما تكبر المستعمرة (وخاصة في الربيع) فان عددا من خلايا المستعمرة يتحول الى خلايا تكاثر لا جنسى تسمى الجونيديا Gonidia ومفرد ها الجونيديم Gonidium وكل من هذه الجونيديا تصل فى الحجم الى عشرة أضعاف (أو أكثر) من حجم خلايا الفولفوكس العادية ، وكل من هذه الجونيديا تستطيع انتاج مستعمرة Colony ويوجد كل جونيديم فى كيس جيلاتيني ، تنقسم الجونيديم عدد من المرات فى خطوات منتظمة مكونة مجموعة من الخلايا تعرف باسم المستعمرة الأولية Autocolony .

وعندما تصل المستعمرة الأولية درجة البلوغ Maturity فانها تنفصل من المستعمرة الأم وتبدأ فى الاعتماد على نفسها (ولا تستطيع كل خلية من خلايا المستعمرة) تكوين مستعمرة جديدة بنفسها . لذلك



شكل ٥-٣ : طحلب الفولفوكس (مستعمرة)

- أ - مستعمرة الفولفوكس .
ب - خلايا خضرية جسدية .
ج - بيضة وحولها جاميطات ذرية .
د - جرثومة بيضية .

فان خلايا الفولفوكس Volvox تشبه لحد كبير خلايا الكائنات المتعددة الخلايا أكثر من كونها أحياء وحيدة الخلية .

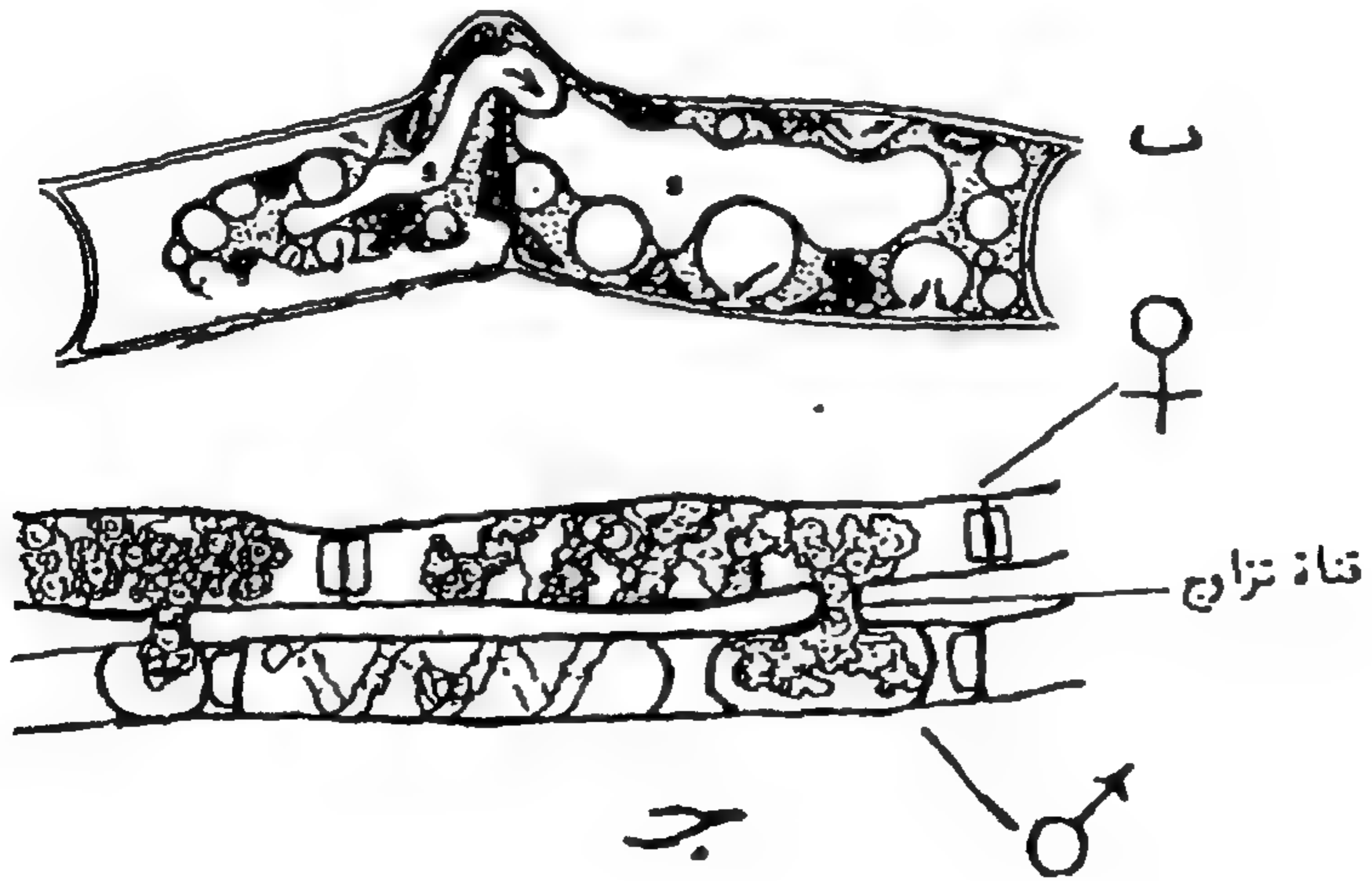
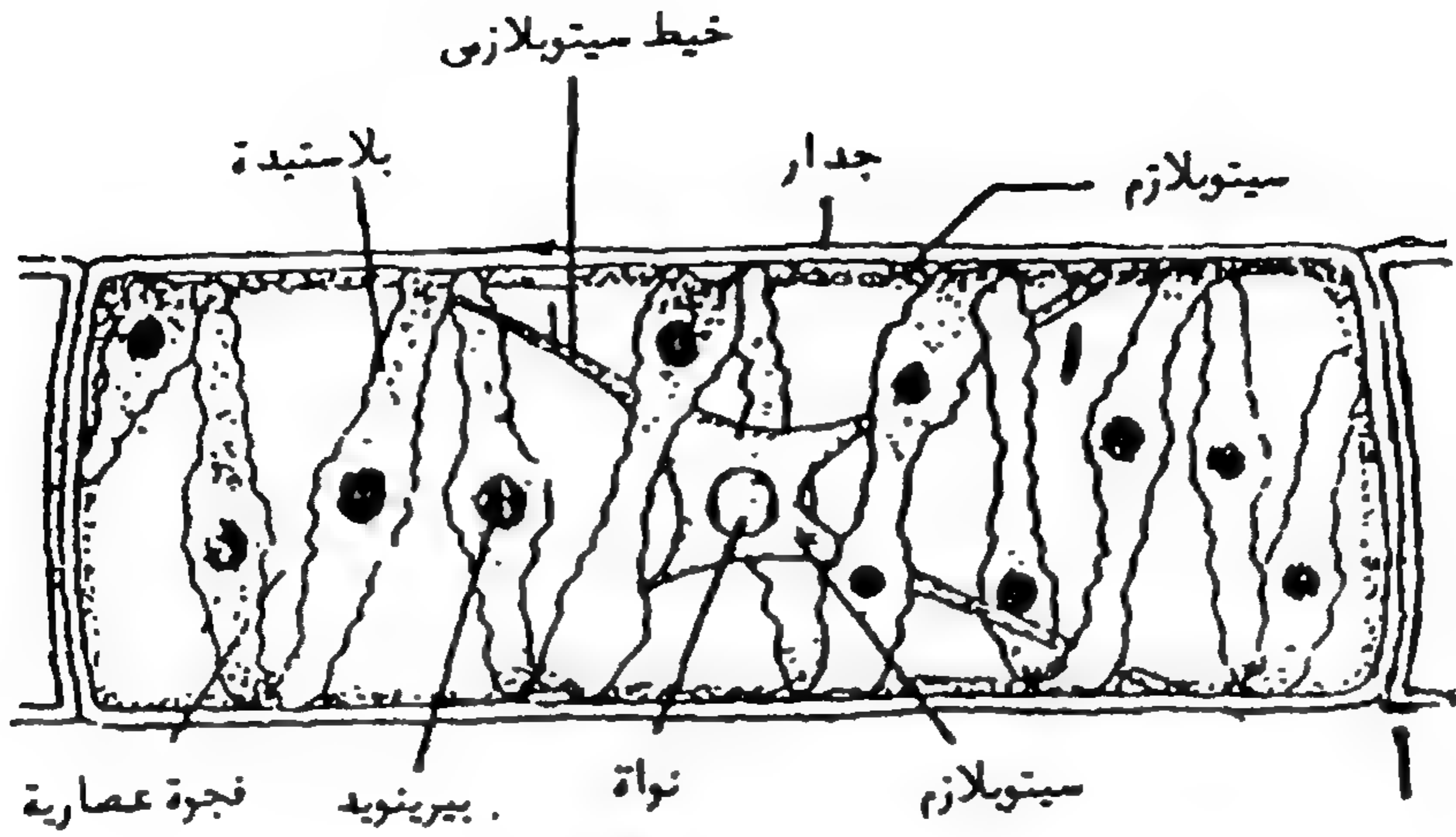
أما التكاثر الجنسي في الفولفوكس Volvox فيحدث في نهاية فصل الربيع من خلال التزاوج بين خلية البويضة Egg وتسمى أحيانا Oosphere و خلية الحيوان المنوى Sperm وتسمى أحيانا Anthridium حيث يخترق الحيوان المنوى (انجاميطة المذكرة) البويضة (الجاميطة المؤنثة) ويتكون الزيجوت ، وهو مزدوج الكروموسومات Diploid ففى هذه الحالة ويكون جدارا سميكاً . وعادة ما يحتوى صبغات حمراء ، ولا ينبت الزيجوت مباشرة ، ولكنه عادة يظل كامناً (ويسمى فى هذه الحالة الجرثومة الببيضة Oospore) حتى تموت المستعمرة الأم وتتحلل . وتحت الظروف البيئية المناسبة (فى الربيع التالى عادة) تنكسر حالة الكمون ويحدث انقسام اختزالى أولا وتتكون خلايا أحادية الكروموسومات Haploid مزدوجة الأسواط Biflagellate تسمى الجراثيم الحيوانية Zoospore وهذه الجراثيم الأخيرة هى التى تكون المستعمرات الجديدة .

أما البويضات والحيوانات المنوية فكثيرا ما تنتج من مستعمرات مختلفة . بمعنى أن بعض المستعمرات تنتج بويضات (جاميطات مؤنثة) ، وبعض المستعمرات تنتج حيوانات منوية (جاميطات مذكرة) . وتتكون هذه الأخيرة من خلايا متضخمة تشبه الجونيديم ، أما الجاميطات المؤنثة فهى تتكون من عدد صغير من الخلايا التى تتحول الى بويضات .

Spirogyra

٣- طحلب سبيروجيرا

يشاهد طحلب سبيروجيرا فى المياه العذبة الراكدة بكثرة ، ويتكون الطحلب من نمو خيطى غير متفرع عبارة عن صف من خلايا أسطوانية الشكل . وقد يكون لها زوائد تعمل على تثبيت الطحلب . يتكون جدار الخلية من سليولوز وبكتين . ويحتوى السيتوبلازم على بلاستيدة واحدة أو بلاستيدتان تلتف حلزونيا بطول الخلية (شكل ٥-٤ أ) .



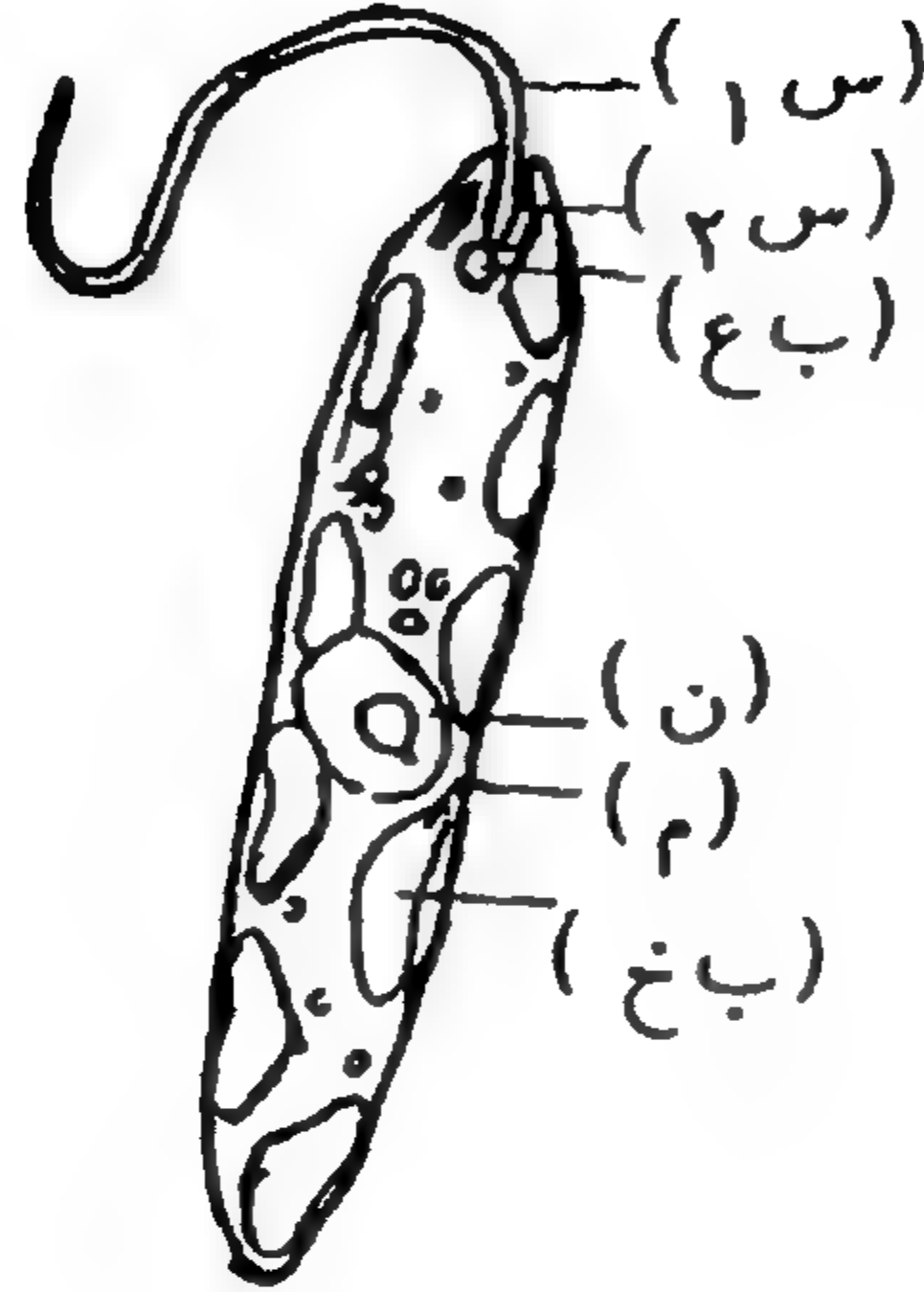
شكل ٥-٤ : طحلب الاسبيروجيرا
 أ- خلية خضرية
 ب- تزاوج جانبي
 ج- تزاوج سلمي

ينمو الطحلب باستطالة الخلايا ثم انقسامها انقساما غير مباشر ويحدث التكاثر الخضري بانفصال الجدار الخلوى بين أى خليتين ثم نمو كل جزء على حدة ويحدث التكاثر الجنسي بين جاميطات أميبية الشكل عديدة الأسواط ، وقد يحدث التزاوج بانتقال بروتوبلاست خلية (جاميطة) الى الخلية المجاورة لها بعد ذوبان الجدار الفاصل بينهما فيسمى هذا التزاوج بالتزاوج الجانبي Lateral conjugation (شكل ٥-٤ ب) ، وقد يحدث التزاوج بين خليتين مختلفتين حيث يتقارب خيطان من بعضهما . وتظهر نتوءات من كل منهما فى اتجاه الآخر حتى يتلاصق كل نتوين ويذوب الجدار الفاصل بينهما وتتكون قناة التزاوج . وينتقل خلالها بروتوبلاست من احدى الخليتين (وهى خلايا الطحلب المذكور) الى الخلية الأخرى (وهى خلايا الطحلب المؤنث) ويسمى هذا التزاوج بالتزاوج السلمى Scalariform conjugation (شكل ٥-٤ ج) وفى كلا النوعين من التزاوج تتحد النواتان وتحلل البلاستيدة الخضراء للجاميطة المذكورة والخلايا المحتوية على الزيجوت تحيط نفسها بجدار سميك تسمى الجراثيم الزيجوية . بعد فترة سكون تنمو الجراثيم الزيجوية وتنقسم نواتها انقساما اختزاليا وينشأ عن ذلك أربعة أنوية تتحلل ثلاث منها وتبقى واحدة لتنقسم ويتكون خيط جديد .

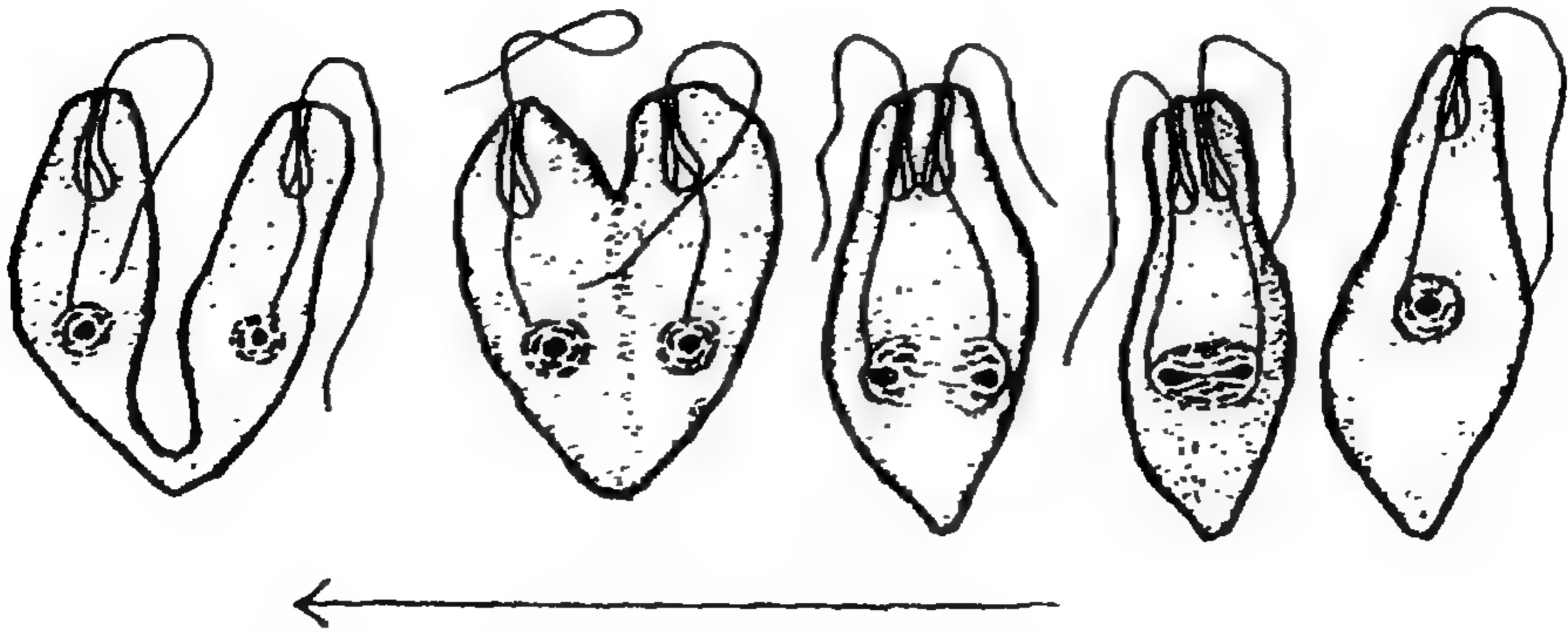
Euglenophyta

ثانياً : الطحالب اليوجلينية

تكثر الطحالب اليوجلينية فى مياه البرك الغنية بالمواد العضوية . كما توجد فى أمعاء بعض الحيوانات . وهى طحالب وحيدة الخلية متحركة ذات ألوان خضراء لاحتوائها على صبغات الكلوروفيل أ ، ب كما تحتوى أيضا على كاروتينات وزانثوفيل . وقد تحدث طفرة تسبب فقد بعض أفراد اليوجلينا القدرة على تكوين الكلوروفيل ، ومثل هذه الطفرات غير رجعية . وعندما تفقد اليوجلينا القدرة على بناء الكلوروفيل فانها تكون كائنات وحيدة الخلية عديدة اللون ليس عندها القدرة للتمثيل الضوئى ، وتشبه بذلك قسم السوطيات Flagellates التابع للبروتوزوا . وتمثل مثل هذه الكائنات حلقة اتصال هامة بين الطحالب والبروتوزوا . ورغم أن كثيرا من علماء النبات يضعون هذه الطحالب ضمن المملكة النباتية



شكل ٥-٥ : طحلب يوجيلينا جراسيليس *Enclena gracilis*
رسم توضيحي لمكونات الخلية النواة (ن) البلاستيدة الخضراء (ب خ)
الميتوكوندريا (م) البقعة العينية (ب ع) السوطين (س ١) (س ٢)
غير متماثلين .



شكل ٥-٦ : خطوات الانقسام الثنائي الطولي في اليوجيلينا

فان كثيرا من علماء الحيوان يضعون هذه الكائنات ضمن المملكة الحيوانية في قسم السوطيات التابع للبروتوزوا خاصة وأن اليوجلينا تنقسم انقساما طوليا شبيها بما يحدث في البروتوزوا ، ويوجد عضو متخصص للرؤية يسمى البقعة العينية Eye spot يحتوى على صبغات كاروتينية وزانثوفيل ، وهو يعمل كمستقبل للضوء للتحكم في حركة الخلية فتتحرك الخلية بناء على اتجاه وشدة الضوء . وقد تفقد بعض أنواع اليوجلينا أيضا القدرة على تكوين هذه الصبغات كطفريات غير رجعية . وفي هذه الحالة لا تتأثر الخلايا بالضوء والغذاء المخزن يكون في صورة دهون ومركب كربوهيدراتي شبيه بالنشا عديم الذوبان في الماء هو الباراميلـ Paramylum وتتحرك جميع أفراد الطحالب اليوجلينية بواسطة أسواط ويمثل هذه المجموعة طحلب اليوجلينا Euglena .

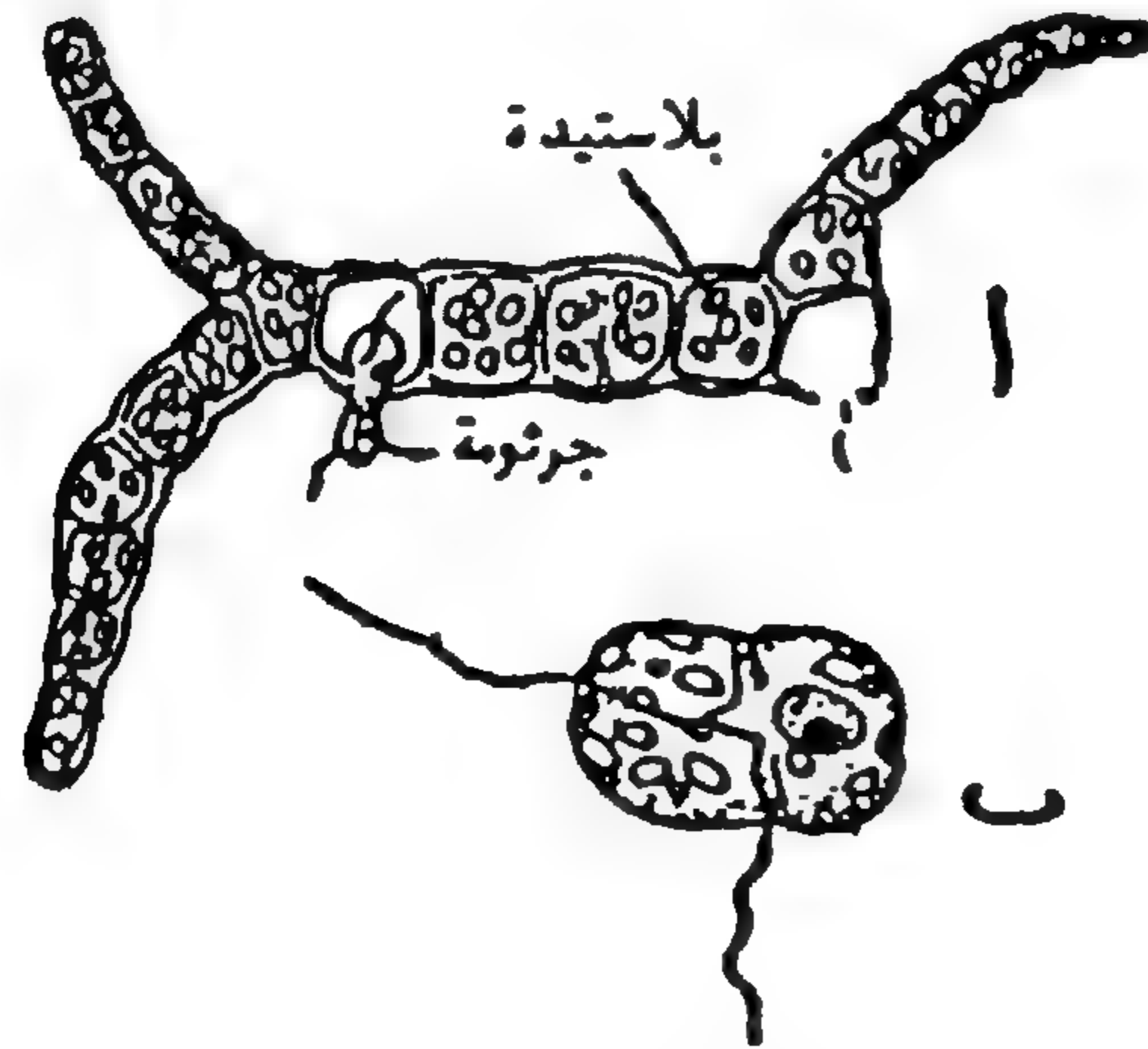
طحلب اليوجلينا يكثر وجوده في المياه العذبة وهو طحلب وحيد الخلية مغزلي الشكل ليس له جدار خلوي لذلك فكثيرا ما يتغير شكله .

يتكون الجزء الخارجى من السيتوبلازم من جزء بروتوبلازمي أكثر كثافة من باقى السيتوبلازم ، ويعرف بالبريبلاست Periplast يمكن البروتوبلاست من الانقباض والحركة بحرية . وعادة يكون البريبلاست مخططا طوليا أو منقطا . وقد يكون البريبلاست صلب فيعطى للخلية شكل ثابت أو يكون مرنا فيتغير الطحلب أثناء الحركة . والشكل العام (شكل ٥-٥) لهذا الطحلب يتراوح بين البيضى والمغزلى ، وقد يحيط بالخلية (دون التصاق) غلاف جيلاتينى يسمى Pellicle فزركش به فتحة أمامية تخرج منها الأسواط ويسمى Lorica يحتوى البروتوبلاست على نواه حقيقية واحدة وعدد من الميتوكوندريا والبلاستيدات الخضراء .

يحدث التكاثر اللاجنسى بانقسام بروتوبلاست الخلايا طوليا Longitudinal fission (شكل ٥-٦) انقساما غير مباشر . وعند وجود الغلاف الجيلاتينى Pellicle يحدث الانقسام داخل الغلاف وتحتفظ احدى الخليتين بالغلاف بينما تتحرر الثانية منه وتكون غلافها جديدا لها .

تعيش الطحالب البيرية في البحار والمياه العذبة . ومعظمها وحيد الخلية تتحرك الخلية بسوطين غير متماثلين في الشكل والموضع . والجدار الخلوي ان وجد فهو سليلوزي عادة . ويوجد انخفاض في جسم الطحلب يقسمه الى جزئين أمامي وخلفي ، ويوجد أحد السوطين في هذا التجويف . لون الخلايا أخضر مصفر الى بني ذهبي . ويحتوي البروتوبلاست على بلاستيدات يميل لونها الى البني وتحتوي على صبغات كلوروفيل أ ، ج و كاروتينات وزانثوفيلات خاصة . معظم الأجناس لها بقعة عينية وفجوات صغيرة غير منقبضة . مواد التخزين عادة نشا وأحيانا ريت .

التكاثر الجنسي غير معروف في معظم هذه الطحالب ، أما التكاثر اللاجنسي فيتم بواسطة انقسام الخلايا أو بتكوين جراثيم متحركة أو غير متحركة ، ومن الأمثلة على هذه الطحالب طحلب دينوكلونيم *Dinoclonium* (شكل ٥-٧) .



شكل ٥-٧ : طحلب دينوكلونيم

ب - جراثيم .

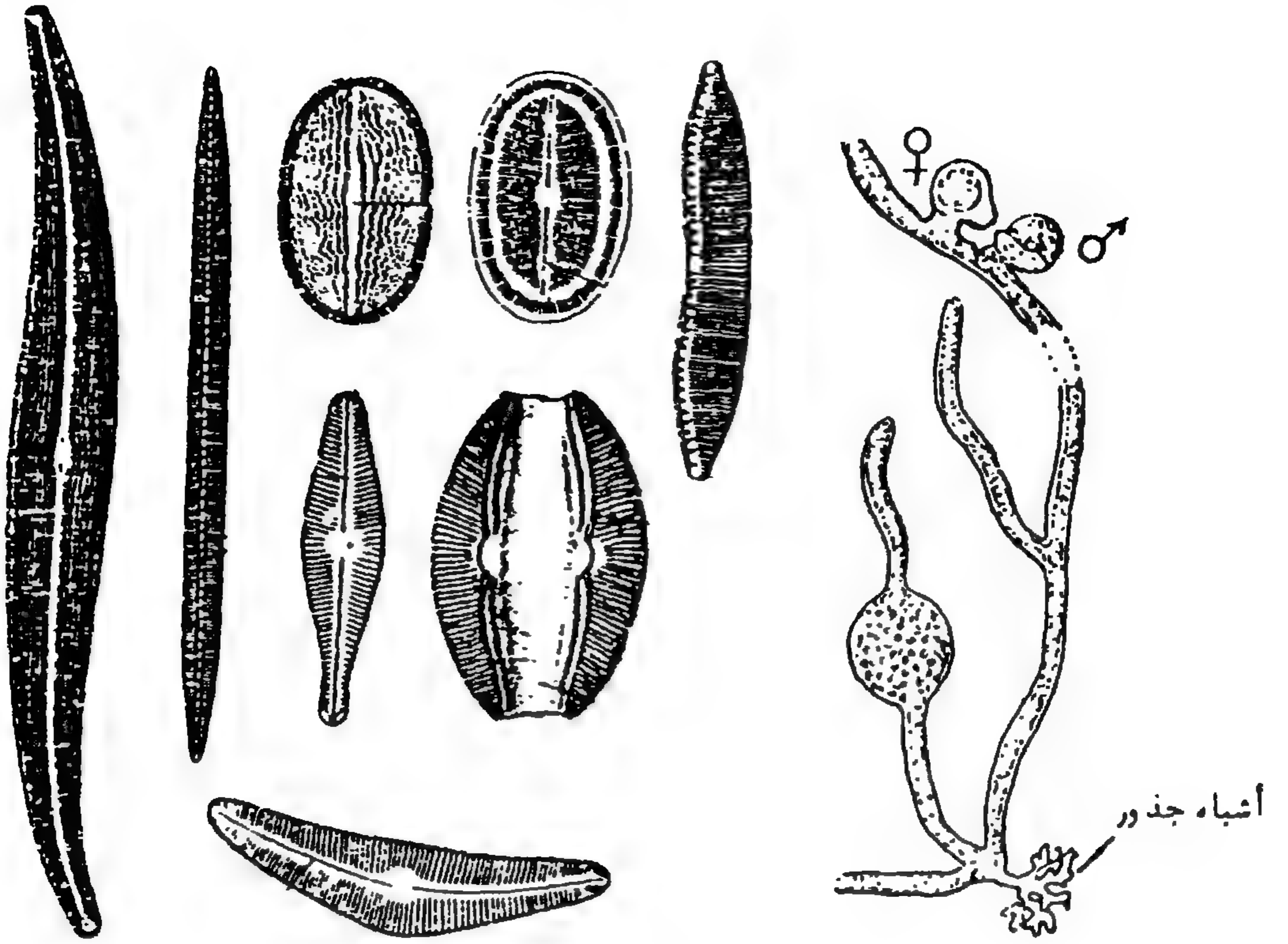
أ - خيط الطحلب

تحتوى على صبغات الكاروتين والزانثوفيل التى تسود نسبياً على صبغات الكلوروفيل ، لذلك تتراوح ألوانها بين أخضر مصفر الى بنسى ذهبي . والمواد المخزنة لا تكون عادة فى صورة نشا ، بل فى صورة زيوت . ومن أمثلتها طحلب كرومولينا *Chromulina* وحييد الخلية الوحيد النواة أو طحلب الفوشيريا *Voucheria* (شكل ٥-٨) المتعدد النوايا والدياتومات *Diatoms* (شكل ٥-٩) .

الدياتومات : *Diatoms*

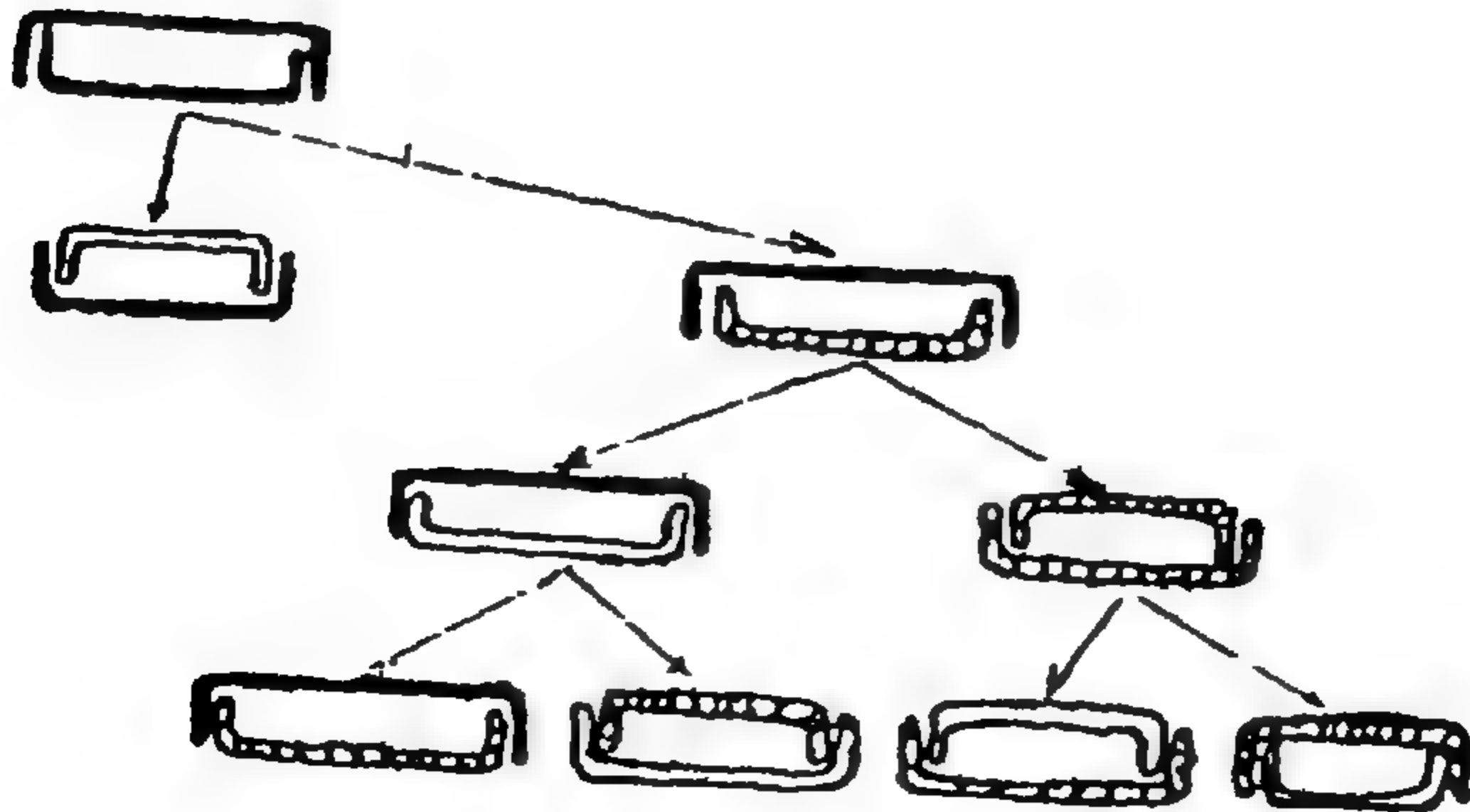
الدياتومات هى مجموعة من الطحالب منتشرة فى جميع أنحاء العالم فى الماء العذب والمالح وفى الأراضى الزراعية ، وتتميز الدياتومات عن كل الطحالب الأخرى بوجود القصعة *Frustule* (الجدار الخلوى *Cell wall*) الصلبة المكونة من السليكا كما سبق أن ذكرنا . وبسبب وجود هذه القصعة الصلبة تواجه الخلية مشكلة خاصة عند الانقسام *Mitosis* . لذلك نجد أن الخلايا الناتجة عن الانقسامات المتعددة تصغر بصفة مستمرة كما هو موضح فى الشكل رقم (٥-١٠) . ولا يتوقف التغير الناتج عن الانقسام فى نقص الحجم فقط ، بل ايضا يحدث تغير واضح فى الشكل . وكثيرا ما تلجأ الخلايا لتعويض هذا النقص فى الشكل والحجم الى تكوين ما يعرف باسم *Auxospore* حيث تنفصل نصفى القصعة عن البروتوبلاست *Protoplast* الذى يكبر فى الجسم ثم يكون قصعة جديدة كبيرة وتعود للانقسام مرة ثانية .

وفى بعض الدياتومات يتم تكوين *Auxospore* نتيجة للتزاوج الجنس حيث تحدث عملية انقسام اختزالى فى الخلايا الخضريّة للدياتومات لتكوين خلايا أحادية الكروموسومات *Haploid* . ثم تتحد هذه الجاميطات بعد نزع القصعة ويتكون الزيجوت المزدوج الكروموسومات *Diploid* . ثم يتكون قصعة جديدة كبيرة ويستمر



شكل ٥-٨ : طحلب فوشيرا

شكل ٥-٩ : أشكال مختلفة من الدياتومات.



شكل ٥-١٠ : خطوات انقسام الدياتومات (لاجنسيا).

التكاثر الخضرى مرة ثانية .

خامساً : الطحالب البنيسة Phaeophyta

تتلون طحالب هذه المجموعة باللون البنى . وتحتوى عادة على كلوروفيل أ ، ج و كاروتينات خاصة وبعض الصبغات الزانثوفيلية ، ويكون الغذاء المختزن على شكل لامينارين ودهن ومانيت Mannite . وقد لوحظ وجود السليلوز فى الجزء الداخلى من جدار الخلية ووجود المواد البكتينية فى الجزء الخارجى منه ، وتعيش معظم أفراد هذه المجموعة فى البحار ومنها الفيوكات Fucales والتي يتبعها جنس الفيوكس Fucus والسرجاسم Sarggasam والأخير يسمى عشب البحر وقد تصل أطوال هذه الطحالب الى أكثر من متر . أما طحلب الفيوكس فينتشر على السواحل الصخرية للبحار خصوصا فى المناطق الباردة .

سادساً : الطحالب الحمراء Rhodophyta

وهى طحالب حمراء اللون وحيدة الخلية أو عديدة الخلايا تحتوى عادة على كلوروفيل أ وصبغات الفايكوبيلينات . ويحتوى الجدار الخلوى على السليلوز والمواد المخزنة عادة نشا ولا تحمل هذه الطحالب أى أسواط .

الوضع التقسيمى للطحالب عديمة اللون : Leucophytes

قد تفقد البلاستيدات الخضراء من بعض الطحالب وفقـد البلاستيدات فى الخلايا ذات النواة الحقيقية Eucaryotes تعتبر خطوة غير رجعية Irreversible وينتج عنها فقد كلى فى القدرة على التمثيل الضوئى .

ويوجد عدد من الطحالب وحيدة الخلية غير الملونة والتي يمكن وضعها ضمن الطحالب بناءً على صفات خلوية أخرى ، وهى تشبه الطحالب

الناجمة عنها في كل شئ ، فيما عدا عدم قدرتها على التمثيل الضوئى ،
وتسمى الطحالب البيضاء Leucophytic algae, Leucophytes .

ويشمل هذا القسم كائنات وحيدة الخلية متحركة بالأسواط
Flagellate أو غير متحركة ناتجة عن الطحالب الخضراء الخيطية ، وكذلك
بعض الدياتومات .

ويمكن تمييز هذه Leucophytes بسهولة ، اذ كثيرا ما يحتفظ
الكائن بجميع صفاته الأصلية ، فيما عدا فقد البلاستيدات الخضراء .
وحتى — فى بعض الأحيان — قد لا تفقد البلاستيدات وتظل موجودة
ولكن يفقد منها الكلوروفيل فقط ، وتعرف البلاستيدة الخالية من
الكلوروفيل باسم Vestigial . ولا يمكن أن يساورنا الشك أن مثل
هذه الكائنات غير الممثلة للضوء ذات علاقة وطيدة لتلك التى لم تفقد
القدرة على التمثيل الضوئى التى نتجت عنها كخطوة من خطوات التطور .

وفى الحقيقة فان هذا التغيير يمكن مشاهدته عمليا بتعريض
سلالات معينة من اليوجيلينا ببعض المضادات الحيوية كالاستربتومايسين
Streptomycin أو جرعات صغيرة من الأشعة فوق البنفسجية
UV-Light أو لدرجات حرارة مرتفعة فتنتج كائنات شبيهة تماما
باليوجيلينا ولكنها عديمة اللون Colorless . وهذه الكائنات عديمة
اللون لا يمكن تمييزها عن السوطيات Flagellates التابعة للجنس
Astasia من أفراد البروتوزوا Protozoa .

لذلك فالطحالب البيضاء Leucophytic algae تمثل مشكلة
تقسيمية خاصة ، ويبدو أن أفضل وضع للطحالب البيضاء هو وضعها
فى قسم خاص من الطحالب وليس البروتوزوا كما يفضل علماء الحيوان
Zoologists . فعلماء الحيوان ينظرون الى هذه الكائنات ذات النواة
الحقيقية — وحيدة الخلية — غير قادرة على التمثيل الضوئى على أنها
بروتوزوا . وقد ثبت معمليا أنه يمكن انتاجها من الطحالب . ولذلك فهذه
المجموعة من الكائنات تمثل أحد أهم الدلائل على المرحلة الانتقالية
بين مجموعتين أساسيتين من الأحياء الدقيقة ذات النواة الحقيقية .

الفصل السادس

البروتوزوا Protozoa

تعريف البروتوزوا :

ان أبسط تعريف للبروتوزوا يقول بأنها حيوانات وحيدة الخلية .
ولكن كالمعادة فان تعريفا كهذا يترك عددا من الأسئلة مفتوحا دون
اجابة ، وعلى سبيل المثال وليس الحصر ، فالسؤال الأول الذى يتبادر
للذهن هو : ما هو تعريف حيوان ؟

فاذا كان السؤال للتمييز بين الحيوانات والنباتات الراقية ،
كالشجرة والكلب مثلا ، فانه من السهل التمييز بينهما على أساس الحركة
والاحساس وطريقة التغذية ، ولكن هذه الصفات لا يمكن استعمالها
باستمرار للتمييز بين النبات والحيوان ، فالأسفنج يعتبر من بين
الحيوانات ، ولكنه لا يتحرك ، كما أن بعض النباتات قادرة على
الاحساس والحركة مثل نبات الست مستحية والنباتات آكلة الحشرات .

ومن ناحية ثانية نجد أن بعض الكائنات المتحركة والمحتوية
على كلوروفيل كاليوجلينا Euglena تقسم كطحلب كما تعتبر أيضا
بروتوزوا ، وذلك يتوقف على من الذى يقوم بالتقسيم ، هل هو عالم
نبات Botanist أم عالم حيوان Zoologist . فالليوجلينا تقوم بعمليات
التمثيل الضوئى مثل النباتات ، ولكنها تتحرك وتحس وتستجيب بسرعة
للمؤثرات كالحيوانات ، كما أن بعضها يتغذى تغذية حيوانية السى
جانب التمثيل الضوئى . بل أن بعضها يفقد الكلوروفيل تحت ظروف
خاصة فى المعمل كما سبق أن أشرنا الى الاعتبارات الخاصة لتقسيم
الطحالب البيضاء Leucophytic algae فى نهاية الفصل السابق .

ومن ناحية ثالثة نجد أن بعض الكائنات الخلوية تكون وحيدة
النواة فى بعض أطوارها ، وتكون متعددة الأنوية فى بعض أطوارها الأخرى
، كما أنها تحتوى على جدر خلوية فى بعض أطوارها ، وفى بعض الأطوار
الأخرى لا تكون جدر خلوية وتتحرك بحركة أميبية ، وذلك مثل الكائنات

المعروفة باسم الفطريات اللزجة Slime mold فهي تقسم أحيانا كـفطريات ، وأحيانا تقسم كبروتوزوا . . .

وقد أدى وجود درجات متفاوتة من التشابه بين الفطريات والطحالب والبروتوزوا وكذلك وجود حلقات اتصال بين هذه المجموعات الثلاث من الأحياء (مثل الفطريات اللزجة والطحالب البيضاء وغيرها) الى فصل هذه المجموعات الثلاث من المملكتين النباتية والحيوانية ودفعت بهيكل Haeckel لاقتراح المملكة الثالثة أو مملكة الأحياء البسيطة حقيقية النواة (مملكة البروتستتا) اضافة الى المملكتين التقليديتين النباتية والحيوانية .

ولا شك أن تسمية البروتوزوا Protozoa باسم الحيوانات وحيدة الخلية جاء على اعتبار أن جسم الحيوان الأولي يشبه الخلية الواحدة في الحيوان عديد الخلايا هي جزء مخصص لوظيفة خاصة كالحركة أو الاحساس أو الافراز ، أما المادة الحية للحيوان الأولي ، فوحدة كامله تقوم بجميع العمليات الحيوية دون تخصيص . وهذا ما لا يمكن للخلية الواحدة في الحيوان العديد الخلايا أن تقوم به . كما أن تركيب الحيوان الأولي في كثير من الأنواع أكثر تعقيدا عن تركيب الخلية في الحيوان عديد الخلايا . وهذا سبب آخر لفصل البروتوزوا عن المملكة الحيوانية .

وبناء على ذلك تكون البروتوزوا عبارة عن مجموعة مختلفة اختلافاتا كبيرا من حيث الحجم والشكل ، فبعضها يماثل في صفه حجم بعض أنواع البكتيريا (عدة ميكرومترات) وبعضها من الكبر بحيث يمكن رؤيته بالعين المجردة (ملليمتر واحد أو أكثر) وهذه طبعا هي حدود الحجم ، ولكن معظم البروتوزوا أكبر من البكتيريا ولكنها لا ترى بالعين المجردة . ويوجد في الطبيعة حوالي ٢٠٠٠٠ نوع من البروتوزوا .

تعيش معظم البروتوزوا معيشة حرة Free living في الطبيعة في أماكن كثيرة ، فهي توجد في المياه العذبة والمالحة ، كما توجد في التربة الزراعية وفي البيئات الهوائية مثل سطح الأشجار وغيرها ، كما أن بعض أفراد البروتوزوا توجد متطفلة على الانسان والحيوان والنبات .

ويسبب بعضها أمراضا فتاكة .

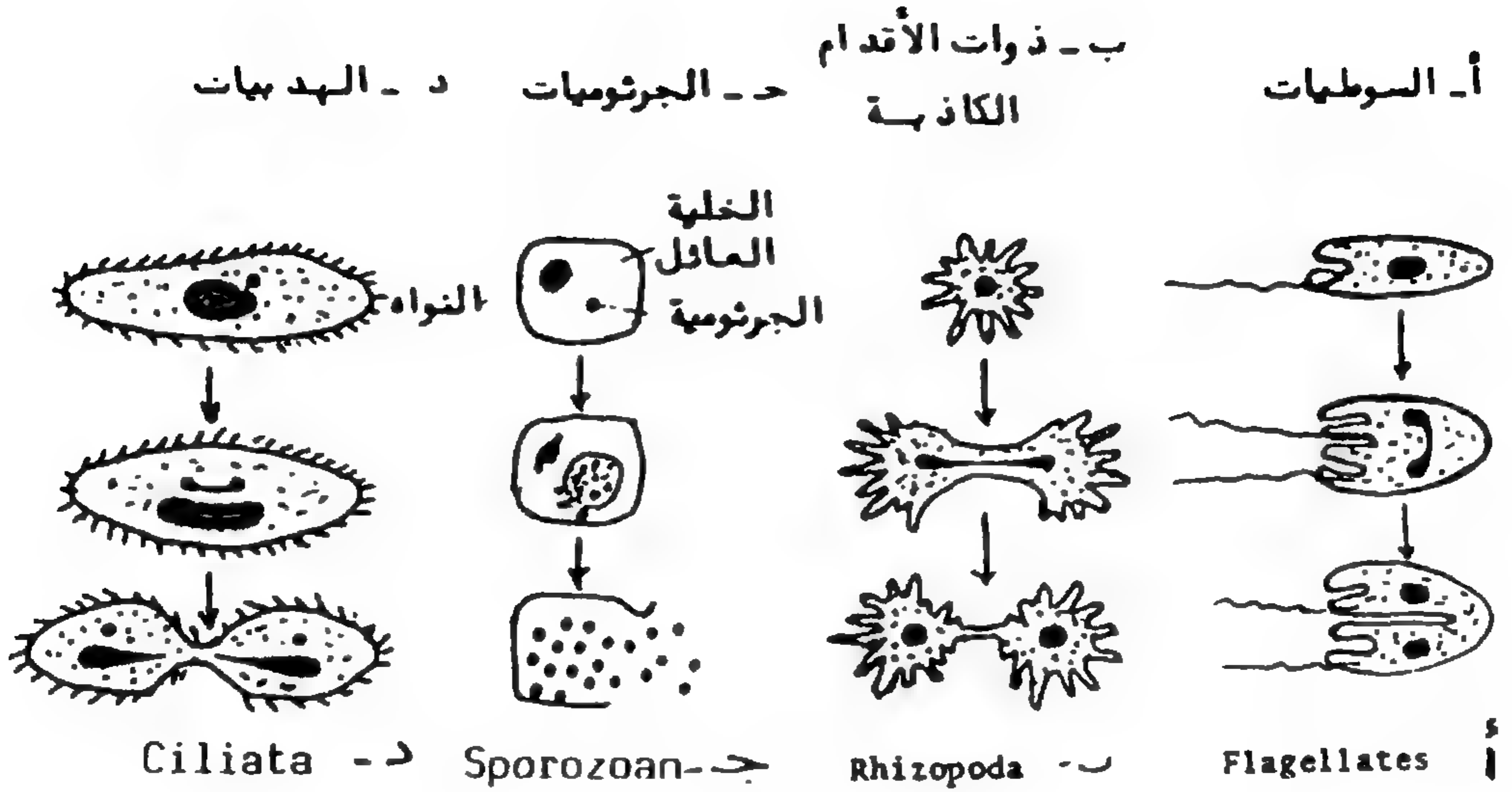
وبصفة عامة ، فان البروتوزوا تتغذى عن طريق ابتلاع المواد الصلبة Phagocytosis أو عن طريق تناول الجزيئات الكبيرة ذائبة فـسـى الماء بواسطة عملية الشرب Pinocytosis حيث تتناول الخلية قطيرات ماء ذائبا فيها الجزيئات الغذائية عن طريق فجوات فى الغشاء الخلوى تشبه الفجوات الغذائية التى تتكون عند ابتلاع الطعام . وتختلف عملية الشرب Pinocytosis هذه عن عملية النقل النشط Active transport التى تحدث فى الكائنات ذات النواه البدائية Procaryotes فى أن عملية الشرب أقل اختيارا من الثانية ، فأى جزيئات ذائبة فى الماء يمكنها الدخول الى الخلية ، أما فى عملية النقل النشط فان جزيئات معينة فقط هى التى يمكنها الدخول الى الخلية .

وتختلف البروتوزوا عن بعضها اختلافا كبيرا من حيث الشكل والعادات والموطن ، فبعضها مغزلى أو بيضاوى أو مستدير ، وبعضها يحمل أسواطاً Flagella أو أهدابا للحركة ، ومنها ما ليس له أعضاء حركة . وبعض خلايا البروتوزوا تمر بأطوار — أشكال — مختلفة فى دورة حياتها ، وليس للبروتوزوا جدر خلوية . وللبروتوزوا نواة واحدة عادة وتتكاثر البروتوزوا بالانقسام الثنائى البسيط ، وقد يتكاثر بعضها تكاثرا يشبه التكاثر الجنسى ، وتنقسم البروتوزوا (شكل ٦-١) حاليا الى أربعة أقسام رئيسية نتناولها فيما يلى :

أولا : قسم السوطيات

Mastigophora or Flagellates

هى بروتوزوا تتحرك بواسطة سوط واحد أو أكثر ، وتنقسم الخلية فى الاتجاه الطولى ، ويشمل هذا القسم عددا كبيرا من الكائنات تختلف فى أجناسها وأنواعها اختلافا كبيرا فى التركيب والعادات . وقد سبق شرح طريقة الانقسام فى هذه السوطيات عند مناقشة الطحالب السوطية المثلثة



شكل ٦-١ : الأقسام الرئيسية الأربعة من البروتوزوا

أ- السوطيات: الحركة بالأسواط (وأحيانا أميبية) التكاثر بالانقسام الثنائي الطولي . التكاثر الجنسي نادر . بعضها يسبب أمراض .

ب- ذوات الأقدام الكاذبة: الحركة أميبية (وأحيانا بالأسواط) التكاثر بالانقسام الثنائي معظمها تعيش حرة .

ج- الجرثوميات: تكون جراثيم . لا توجد أهداب أو أسواط (ما عدا أسواط الجاميطات) كلها مرضية .

د- الهدبيات: الحركة بالأهداب . يوجد نوعين من الأنوية (صغيرة وكبيرة) التكاثر بالانقسام العرضي .

للضوء (الطحلبية) وكذلك الطحالب البيضاء الناتجة عن فقد بعض الطحالب لقدرتها على تكوين الكلوروفيل . وهنا نوجه القارئ الكريم للمناقشة الخاصة بهذا الموضوع في نهاية الفصل السابق . ونظرا لأنه قد سبق مناقشة هذا الموضوع ، فستعتبر الكائنات ذات النواة الحقيقية التابعة Sub class phytomastigophora ذات القدرة على التمثيل الضوئي والكائنات التي فقدت القدرة على التمثيل الضوئي كنتيجة للطفرات والمعروفة باسم Leucophytes (وهي كائنات تشبه الكائنات المثلثة للضوء في كل شيء ما عدا القدرة على التمثيل الضوئي) ضمن قسم الطحالب والذي سبق مناقشته في الفصل السابق . . . وسيقتصر الشرح هنا على بعض نماذج السوطيات التي ليس لها مثل في الطحالب والتي تسمى السوطيات الحيوانية Zoomastigophora مثل التريبانوسوما (الطفيل الذي يسبب مرض النوم) والتريكونيما Trichonympha التي تعيش في القناة الهضمية للنمل الأبيض .

(١) البروتوزوا المسببة لمرض النوم (تريبانوسوما) Trypanosoma

هي كائن وحيد الخلية ذو نواة حقيقية يصيب الانسان في وسط وجنوب أفريقيا بمرض النوم (وان كان هناك مرض فيروسي يسمى مرض النوم أيضا وهو Encephalitis) ويتطفل هذا الكائن وحيد الخلية على الحشرات المستعدة للدماء وعلى بعض اللافقاريات ، وغالبية الفقاريات في أفريقيا وذلك دون أن يصيبها بضرر يذكر . شكل الخلية مغزلية مقوسة مدببة عند طرفيها ولها سوط واحد يبرز من الطرف الأمامي (شكل ٦-٢) وينشأ من جسم حبيبي دقيق يعرف بالحبيبة القاعدية Basal granule توجد بالسيتوبلازم عند مؤخر الجسم ، ويتجه السوط بمحاذاة الجسم الى الأمام حيث يبرز من الطرف الأمامي ، ويتصل السوط بجدار الجسم بغشاء متموج ، وتسبح الخلية بسرعة بتموج السوط والغشاء المتموج . ويوجد أنواع مختلفة من التريبانوسوما تنتقل من شخص لآخر بواسطة الحشرات الماصة للدماء مثل ذبابة تسمى تسي Tsetse . يتكاثر هذا الكائن بواسطة الانقسام الثنائي البسيط طوليا (شكل ٦-٣)

والتريبانوسوما من نوع الكائنات التي تمتص الغذاء Osmotrophic عبر الغشاء الخلوى ولا تبتلعه كما فى الأميبا .

ثانيا : قسم ذوات الأقدام الكاذبة

Class Rhizopoda

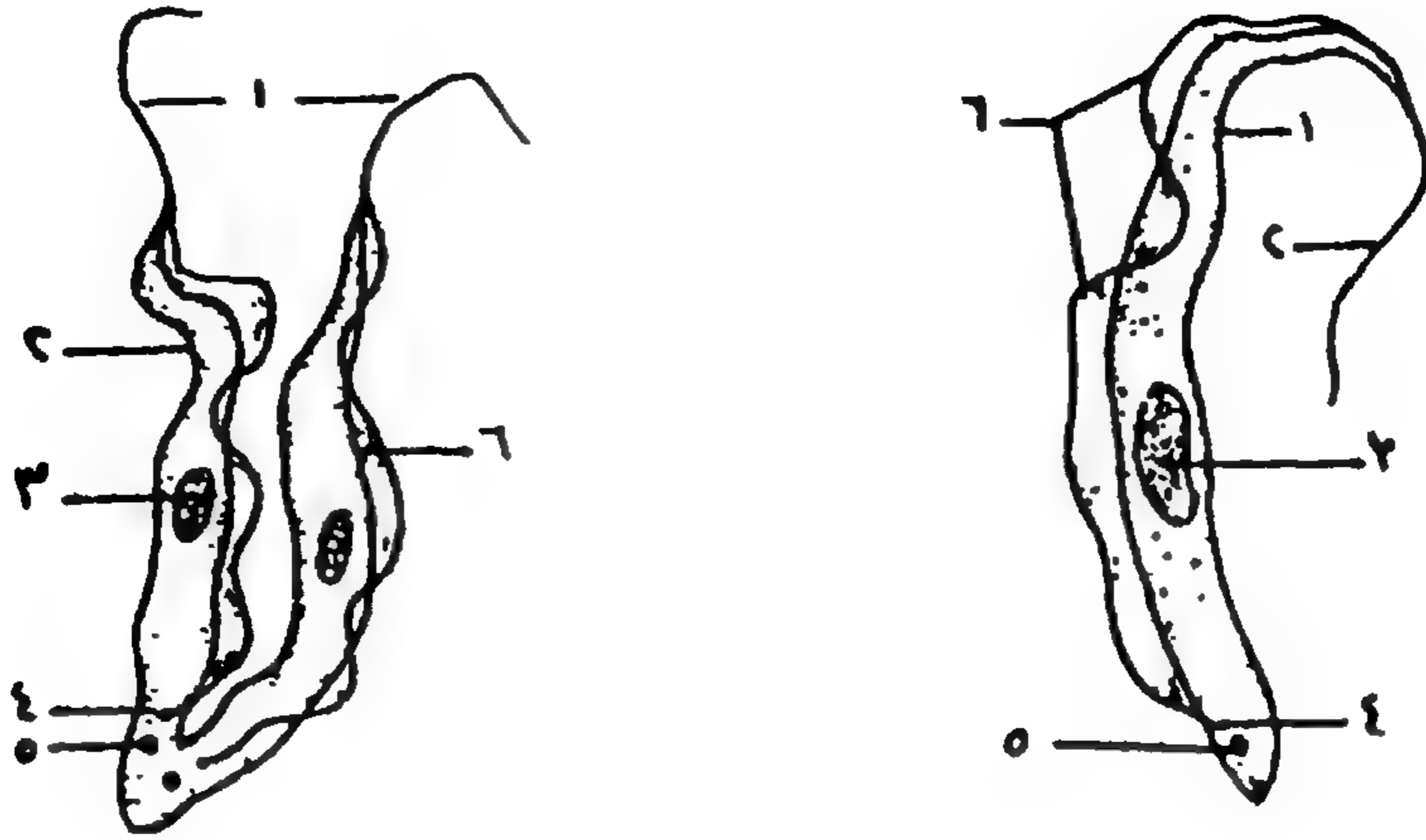
تتحرك الكائنات التابعة لهذا القسم بواسطة الأقدام الكاذبة Pseudopodia أساسا ، كما أن بعضها يتحرك أيضا بالأسواط ، وتتغذى بالابتلاع Phagotrophie وتنقسم بالانقسام الثنائى Binary fission . ويعيش معظمها معيشة حرة Free living فى المياه الراكدة والأراضى الرطبة ويعيش بعضها متطفلا فى القناة الهضمية للحيوانات . . ويقسم هذا القسم الى خمسة رتب Orders وهى :

١- رتبة أنبوية الأقدام الكاذبة : Order Labosa

وتتميز بأقدامها الأنبوية غير المدببة ، ويتميز فيها السيتوبلازم الى منطقتين : الأكتوبلازم (الطبقة الخارجية) والاندوبلازم (الطبقة الداخلية) . وتشمل هذه الرتبة عددا كبيرا من الكائنات تختلف عن بعضها فى عدد الأنوية ووجود هيكل غير مثقب من عدمه . ومن أمثلتها الأميبا Amoeba والانتاميبا Entameba والأرسلات Arcella .

أ- الأميبا : Amoeba

تعيش الأميبا فى برك المياه العذبة والأراضى الرطبة ، وهى عبارة عن كتلة بروتوبلازمية مجهرية يتراوح قطرها بين ١٢٧ ، ٣٤٠ ميكرو متر ويبلغ قطر أكبر أنواعها حوالى نصف ملليمتر فتظهر هذه للعين المجردة كنقط لامعة فى الماء .



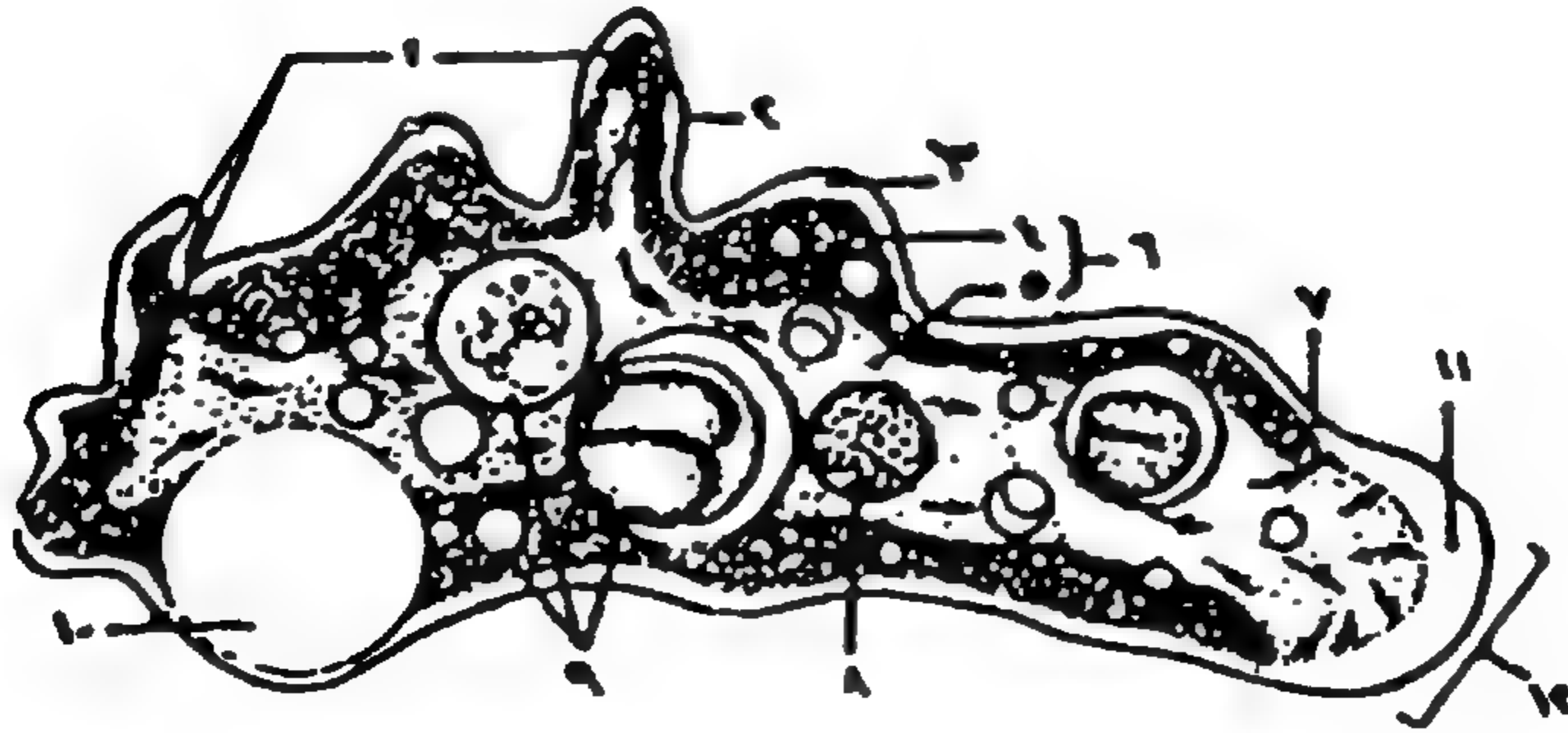
شكل ٦-٢ : التريبانوسوما (الاجزاء)

١- جليد ٢- سوط ٣- نواه

٤- حبيبة قاعدية ٥- نواه حركية

٦- غشاء متموج

شكل ٦-٣ : التريبانوسوما
(الانقسام الثنائي)



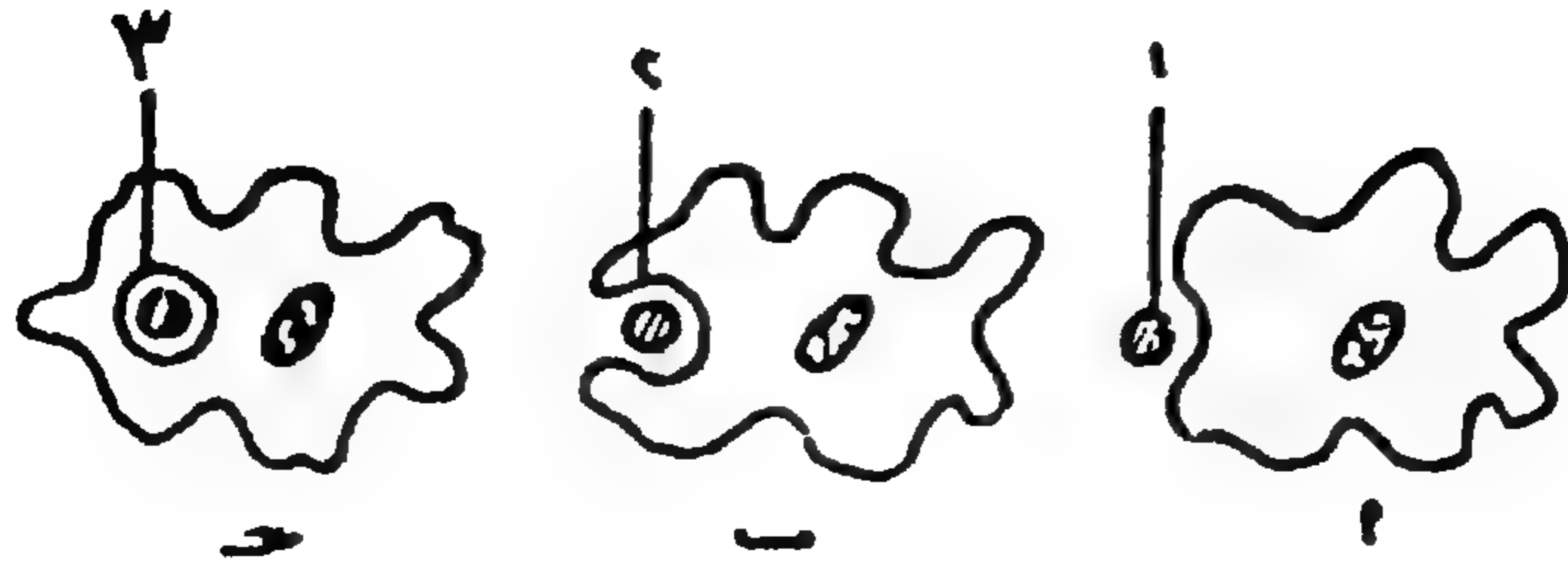
شكل ٦-٤ : الاميبا

- | | | |
|----------------------|---------------------|-----------------|
| ١- مناطق الاسالة | ٢- غشاء بلازمي | ٣- الاكتوبلازم |
| ٤- البلازما الهلامية | ٥- البلازما السائلة | ٦- الاندوبلازم |
| ٧- منطقة هلامية | ٨- النواه | ٩- فجوات غذائية |
| ١٠- فجوة منقبضة | ١١- قلنسوة شفافة | ١٢- قدم كاذب |

ويحتوى البروتوبلازم على الكثير من الحبيبات والقطرات (شكل ٦ - ٤) ويحيط بالبروتوبلازم الغشاء الخلوى أو الغشاء البلازمى *Plasmolemma* الذى يسمح بدخول المواد للخلية ، ولكنه لا يسمح بخروج محتويات الخلية . وعندما تقطع الأميبا الى جزئين يستدير كل منهما ويكون غشاء بلازمى يحيط به نفسه بالكامل لينعقد محتوياته . ويعيش الجسم المحتوى على النواة ويتغذى ويتكاثر ، أما الثانى فيتوقف ويموت بعد قليل . وليس للنواة مكان ثابت فى البروتوبلازم . وقد يوجد بالخلية فجوات غذائية وفجوات منقبضة مختلفة الأحجام .

الحركة : تتحرك الأميبا حركة واضحة بواسطة الأقدام الكاذبة ، ويتكون القدم الكاذب فى أى جزء من سطح الجسم ويستمر القدم فى النمو بعد تكونه بعض الوقت بسبب تدفق بعض بروتوبلازم الأميبا داخله ولكن بعد مدة يتكون قدم آخر فى مكان مجاور فيتدفق البروتوبلازم فى القدم الجديد وبهذه الطريقة تتحرك الأميبا حركة غير منتظمة تسمى الحركة الأميبية وهى مزيج من التدفق والزحف والتدحرج .

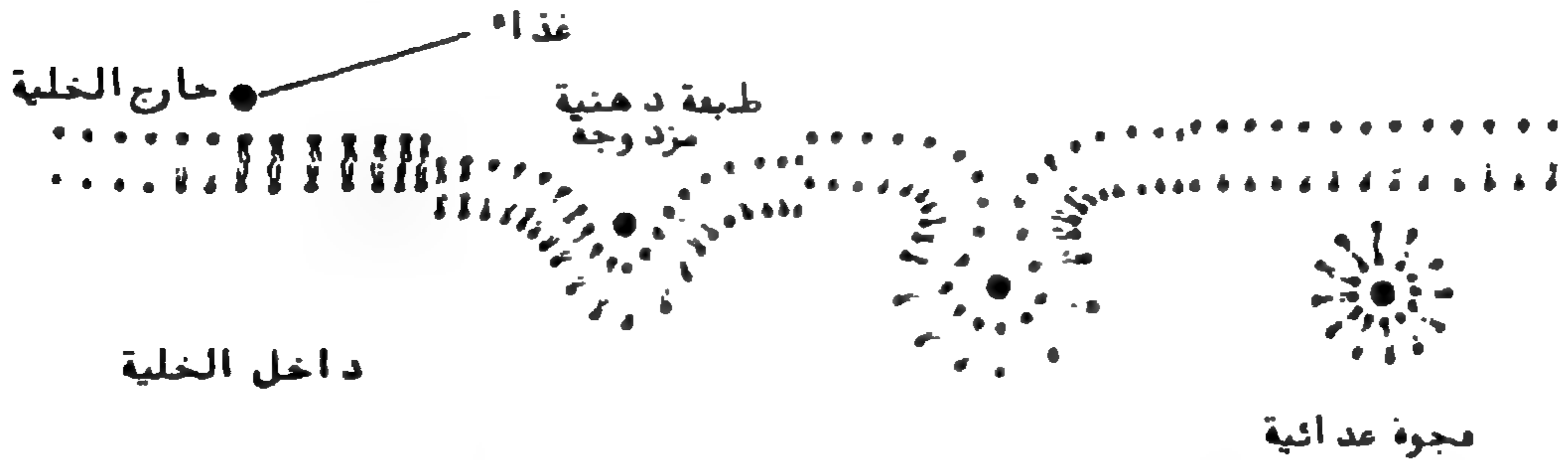
التغذية : تتغذى الأميبا (شكل ٦ - ٥) على الأحياء المجهرية الصغيرة كالدياتومات والبكتيريا والكائنات وحيدة الخلية . وتستطيع الأميبا التمييز ما بين الغذاء وغيره من المواد . وعندما تلامس الأميبا الغذاء فانها تتوقف عن الحركة وتتكون الأقدام الكاذبة على جانبي الغذاء وفوقه ثم تحيط به احاطة تامة فيصبح الغذاء محبوسا مع قليل من الماء فى تجويف يعرف بالفجوة الغذائية *Food vacuole* وتسمى هذه العملية بالابتلاع *Phagocytosis* وتشير اليها بعض الكتب بالالتهام . كما أن الخلية تشرب أحيانا بطريقة ماثلة ، ولذلك تسمى عملية الشرب *Pinocytosis* ، وكلا العمليتين الابتلاع والشرب يطلق عليهما الاصطلاح *Endocytosis* . وتحاط الفجوات الغذائية أو المائية التى تبتلعها الخلية بغشاء يشبه الغشاء الخلوى (وحدة الغشاء *Unit membrane*) مثلها فى ذلك مثل مكونات الخلية كأجسام جولجى *Golgie bodies* والميتوكوندريا وغيرها



شكل ٦-٥ طريقة تكوين الفجوة الغذائية

- ١- الغذاء ٢- قنجان غذائي ٣- فجوة غذائية .

والملاحظ أن السطح الخارجى للغشاء الخلوى يصبح السطح الداخلى للفجوات الغذائية ، بينما السطح الداخلى للغشاء الخلوى يصبح هو السطح الخارجى للفجوات الغذائية . (شكل ٦-٦) .



شكل ٦-٦ : رسم توضيحي يبين أن السطح الخارجى للغشاء الخلوى يصبح السطح الداخلى للفجوة الغذائية ، والسطح الداخلى للغشاء الخلوى يصبح السطح الخارجى للفجوة الغذائية .

وتختلط مكونات الفجوة الغذائية مع مكونات فجويات Vesicles خاصة تسمى الليسوسومات Lysosomes (الليسوسومات عبارة عن فجويات خاصة ذات غشاء مماثل للغشاء الخلوى أيضا وحدة الغشاء Unit membrane) تحتوى على عدد كبير من الانزيمات القادرة على تحليل معظم العناصر الغذائية التى تبتلعها الخلية ، وتتفصل هذه الليسوسومات من أجسام جولجى (فيتم هضم مكونات الفجوات الغذائية

فقط دون هضم مكونات السيتوبلازم ، وذلك لانفصال مكونات الفجوات الغذائية والليسوسومات عن السيتوبلازم بوحدة الغشاء وبعد هضم مكونات الفجوات الغذائية تمتص مكوناتها المهضومة في السيتوبلازم لبناء مكونات الخلية ، أما المواد الصلبة المتخلفة عن الهضم ، فتطرد إلى خارج الخلية في عملية الإخراج Exocytosis بطريقة معاكسة لطريقة الابتلاع Phagocytosis .

التنفس: يدخل الأكسجين إلى الخلية عبر الغشاء الخلوي بالانتشار حيث يتم أكسدة المكونات الغذائية لإنتاج الطاقة التي تستخدم في الحركة والنشاطات المختلفة . أما ثاني أكسيد الكربون الناتج فإنه يتم التخلص منه بالانتشار أيضا أما الماء فيتم التخلص منه بواسطة الفجوات المنقبضة Contractile vacuole .

الإخراج : تخرج الغازات بالانتشار كما أشرنا في التنفس ، أما خروج السوائل فيتم بواسطة فجوات خاصة توجد عادة في مؤخرة الخلية ، وتسمى الفجوات المنقبضة Contractile vacuole وهذه الفجوات تعمل كمضخة لإخراج الماء الذي يدخل إلى الخلية باستمرار حتى لا تنفجر الخلية في الأوساط المائية ذات الضغط الأسموزي الأقل من الضغط الأسموزي للسيتوبلازم . وهذه الفجوات المنقبضة تقوم بعمل الجدار الخلوي في الكائنات ذات النواة البدائية Procaryotes والذي يمنع انفجار الخلايا في الأوساط المائية أيضا .

التكاثر: تتكاثر الأميبا بالانقسام الثنائي (شكل ٦-١) وهو نوع بسيط من الانقسام غير المباشر ، فتختنق النواة دون تلاشي الغشاء النووي ودون تكوين مغزل ، ويعقب اختناق النواة اختناق السيتوبلازم ثم انقسام النواة وتنتهي العملية بانقسام الخلية إلى خليتين ثم تنمو كل خلية إلى الحجم الطبيعي قبل أن تبدأ في الانقسام مرة ثانية . وتستمر عملية الانقسام هذا طالما ظلت الظروف مناسبة . أما إذا واجهت الخلية ظروفًا غير مناسبة مثل الجفاف أو قلة الغذاء ، فإن الأميبا تتكور وتفرز حول نفسها غلافا واقيا مكون من ثلاث طبقات يعرف باسم الحويصلة ثلاثية الطبقات Three layered cyst تكمن داخلها الأميبا

وتقل سرعة العمليات الحيوية الى الحد الأدنى ، فاذا عادت الظروف مناسبة للنمو مرة ثانية فإن الحويصلة تذوب وتخرج الأميبا لاستئناف النمو . وقد يحدث أحيانا داخل الحويصلة انقسام عديد وتختلف تفاصيل هذا الانقسام فى الأنواع المختلفة ، والغالب أن تنقسم النواة انقساما مباشرا الى عدد كبير من الأنوية تتجه صوب سطح السيتوبلازم ويحاط كل منها بجزء من السيتوبلازم . وعندما تذوب الحويصلة تخرج الأفراد الصغيرة على شكل أميبات صغيرة ذات أقدام كاذبة مدببة تسمى Pseudopodiospore .

Entamoeba gingivalis

ب - أنتاميبا اللثة

تعرف الأميبا الطفيلية باسم الأنتاميبا ، ومنها أنتاميبا اللثة ، وهى توجد فى فم ٧٥ ٪ من البشر حيث تتغذى بالبكتيريا والخلايا المفككة وتعيش بوجه خاص فى المسافات بين الأسنان واللثة عند مرضى البيوريسيا Pyorrhea ، وهى لا تسبب المرض ، ولكنها تؤدى الى مضاعفاته . وهذه الأميبا لا تتحول وتنتقل العدوى من فم لآخر أثناء الأكل أو التقبيل . وتحدث العدوى فيمن لا يهتمون بنظافة أسنانهم .

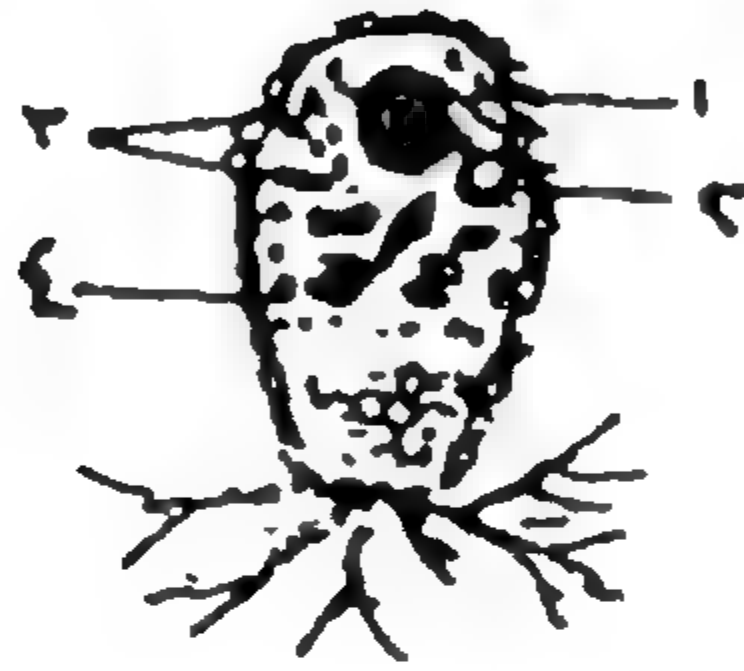
Entamoeba histolytica

ج - أنتاميبا الدوسنتاريا

تعيش فى أمعاء الانسان وتضر بالغشاء المخاطى المبطن للأمعاء عن طريق افراز انزيم يذيبه . كما تتغذى على الكرات الدموية التسي تنزف بعد اذابة الغشاء المخاطى ، وقد تسير فى الدم الى الكبد وتكون خراجات فيه . وتنتقل العدوى عن طريق الحويصلات لأن الانتاميبا النشطة من هذا النوع تموت عند خروجها من الجسم ، أما الحويصلات فتبقى حية وتنقسم النواة فيها الى أربعة أنوية ، واذا تلوث بها غذاء انسان فانها تصل للأمعاء من جديد فتخرج الأميبا رباعية الأنوية من الحويصلات ثم تنقسم مرتين منتجة أربع خلايا صغيرة ذات أقدام كاذبة . وعندما تكبر هذه الخلايا تهاجم جدر الأمعاء كما سبق الذكر وتكون قروحا مصحوة باسهال وتعن مصحوبين بنزول دم مع انبراز .

٢- رتبة خيطية الأقدام الكاذبة : Order Filosa

وهي تمتاز بأن أقدامها الكاذبة رفيعة جدا ، خيطية متفرعة عند أطرافها ولكنها لا تتشابه على هيئة شبكه . وليس لها أكتوبلازم واضح ، فقد يكون لها هيكل كلسى مثل يوجليفا Euglypha . شكل (٦-٧) .



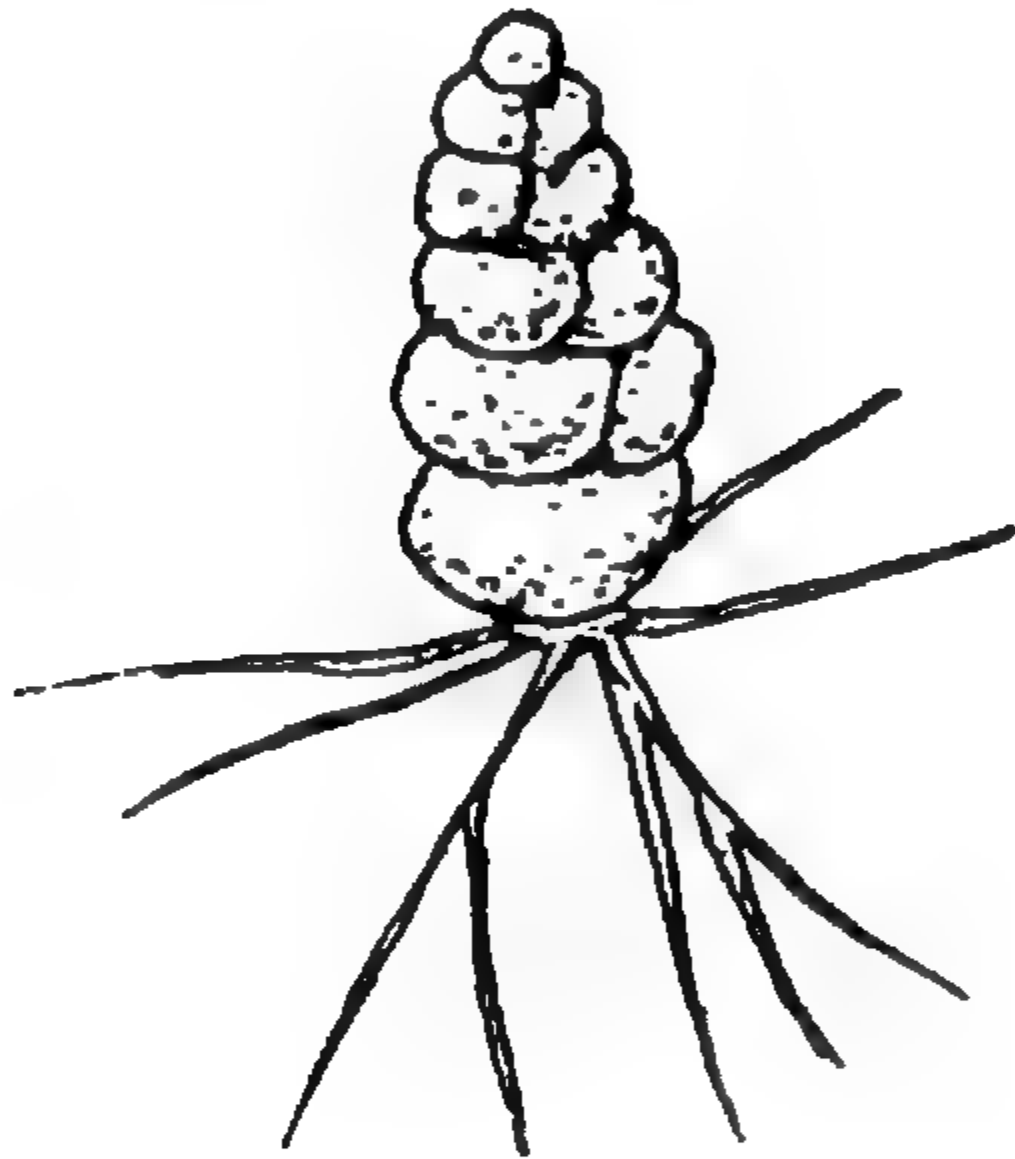
شكل ٦-٧ : يوجليفا (رتبة خيطية الأقدام الكاذبة)
١- نواة ٢- فجوة منقبضة ٣- صفائح قشرية ٤- غذاء مبتلع .

٣- رتبة المثقبات أو حاملة الثقوب : Order Foraminifera

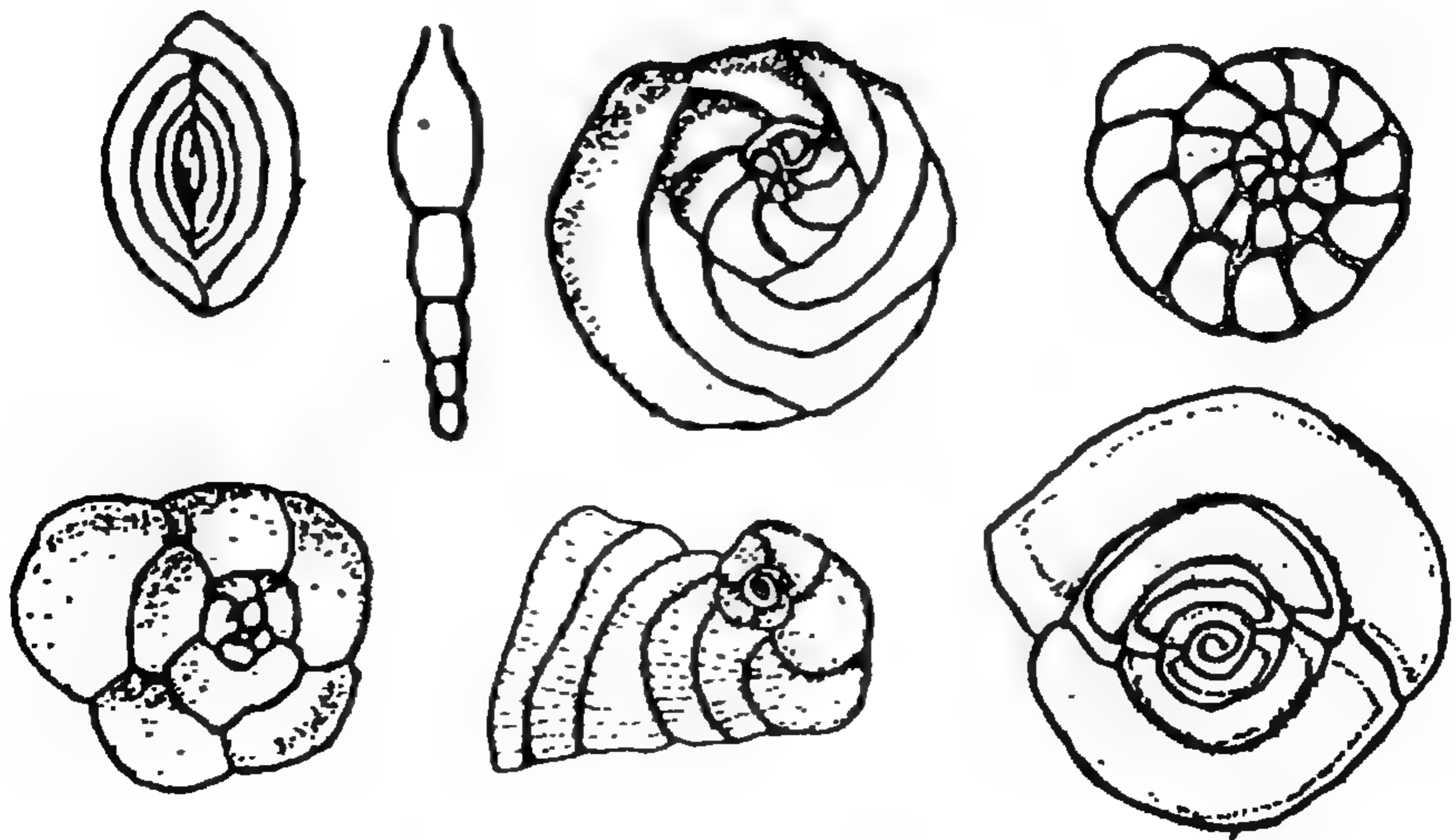
هـى ذوات الأقدام الكاذبة التى تفرز لنفسها هيكلا كلسيا مثقبا ذو حجرة واحدة فى معظم الفورامينفرا أو عديدة الحجرات . وتكثر هذه الكائنات فى البحر وتعيش بعض أنواعها طافية قرب السطح الا أن - غالبيتها تعيش على طين القاع . وحاملة الثقوب الصغيرة تشبه الأميبا فى الشكل ولكنها سرعان ما تفرز حول نفسها هيكلا كلسيا مثقبا له فتحة - هى فتحة المسكن وباستمرار نمو الحيوان فى الحجم يبرز السيتوبلازم الزائد من فتحة المسكن وينشر على سطحه ويفرز مسكنا آخر يلتصق بالأول وهكذا وفى كثير من الأنواع تنتظم حجرات المسكن فى نظام حلزونى فيصبح المسكن شبيها بالقوقعة ، ويشغل هذا الكائن الحى حجرات المسكن

بأكمله ويبحث الى الخارج من فتحة المسكن ومن الثقوب أقداما كاذبة خيطية طويلة تلتصق ببعضها مكونة شبكة سيتوبلازمية ، ولذلك تسمى أحيانا رتبة متشابكة الأقدام الكاذبة تقوم باقتناص الغذاء وهضمه (شكل ٨-٦) وتمتاز الفورامينفرا (حاملة الثقوب) بأنها الوحيدة التي يبلغ حجم بعض أفرادها الى مثل حجم رأس الدبوس . وتتراكم هياكل الفورا - مينفرا بعد موتها (شكل ٦-٩) تتكون الصخور الجيرية والطباشيرية ، ومن أمثلتها الأليفيديم Eliphidium (شكل ٦-١٠) .

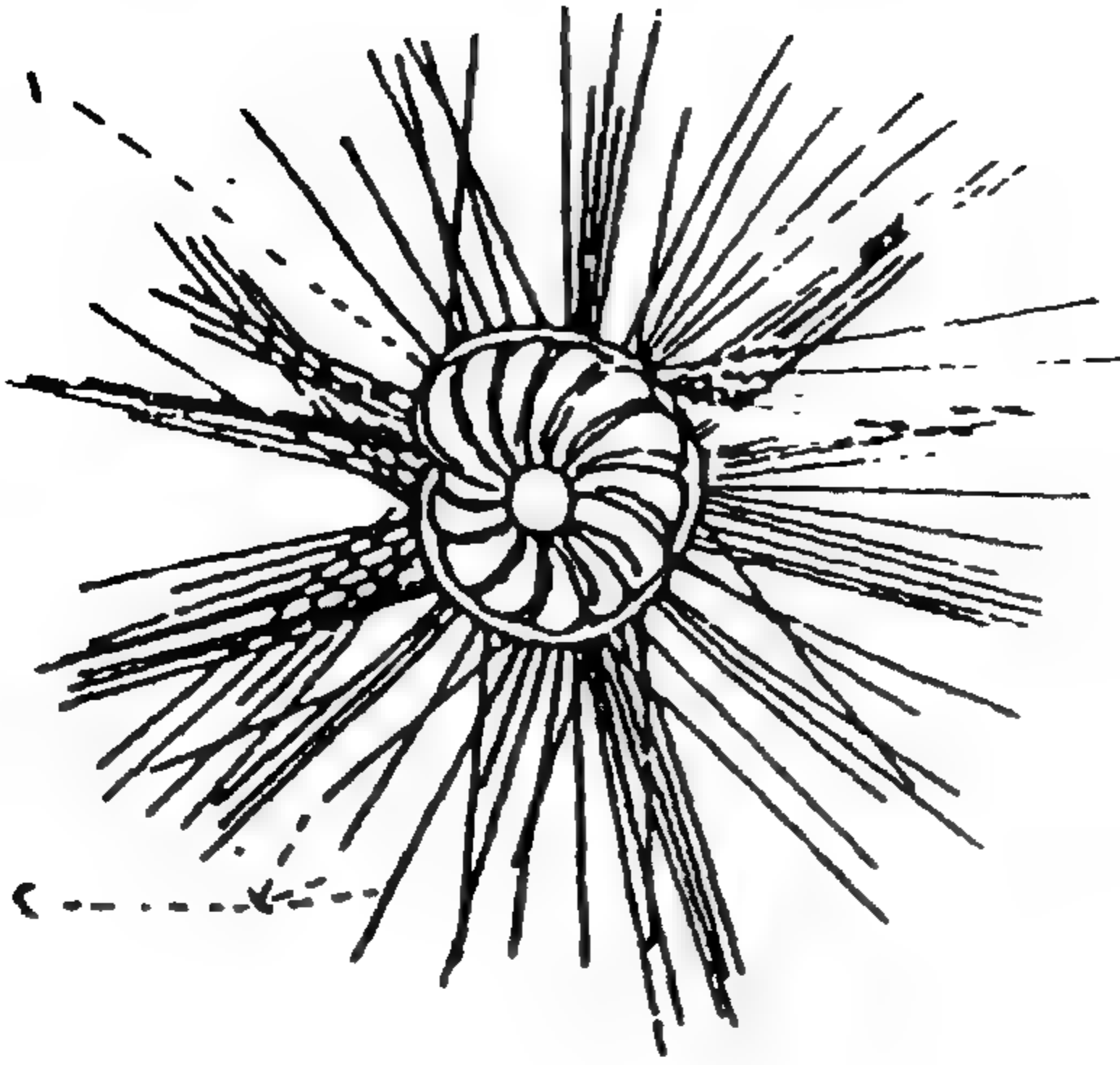
ويبدو أن للفورامينفرا علاقة بتكوين البترول ، فبفحص الصخور وما بها من هذه الحيوانات الحفرية يمكن الاستدلال على حقول البترول .



شكل ٨-٦ : رتبة المثقبات
أو حاملة الثقوب (الفوار -
مينفرا) .



شكل ٦-٩ : أشكال مختلفة - لحاملة الثقوب (الفورا مينفرا)



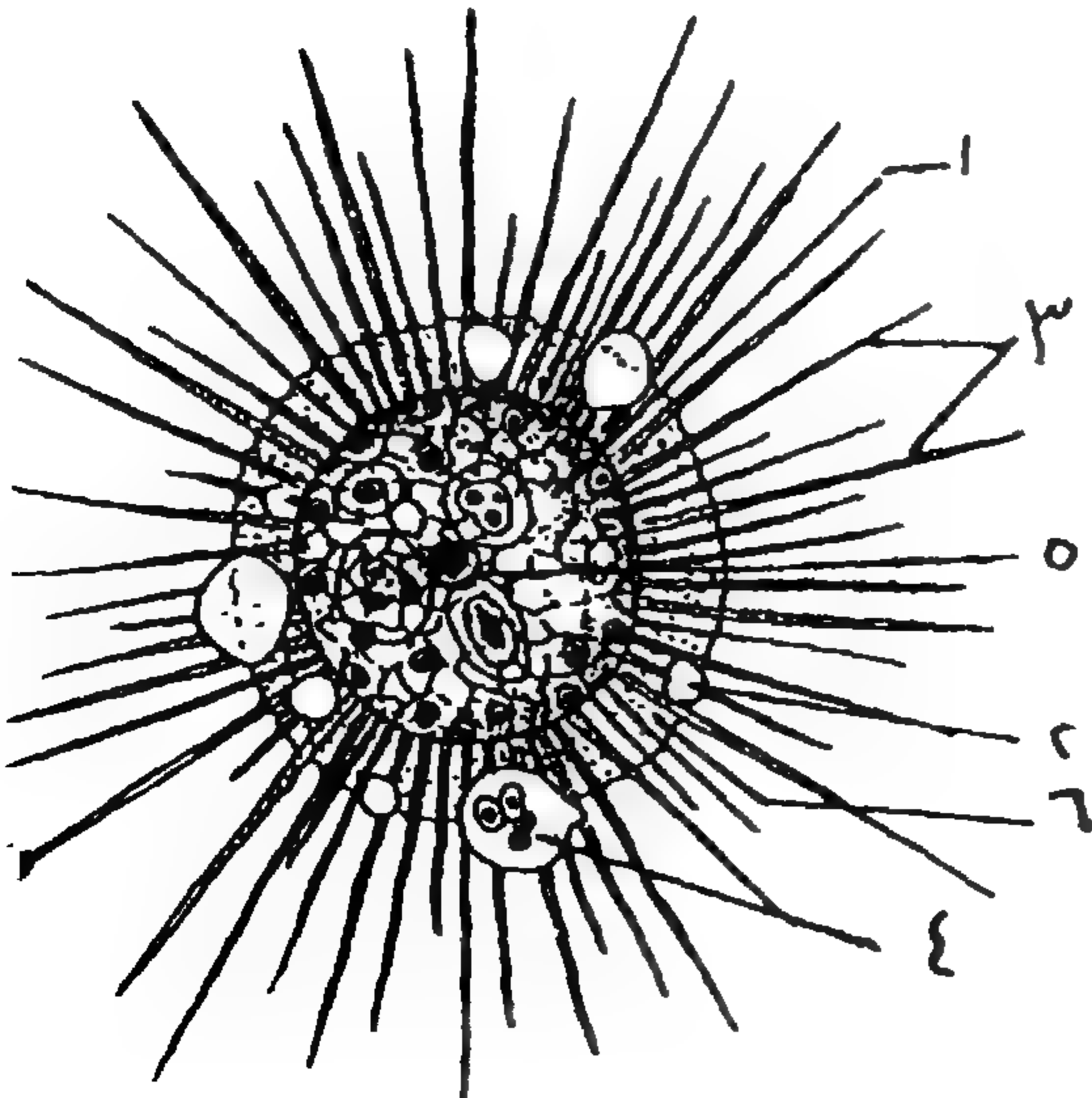
شكل ٦-١٠ : الأليفديم
من رتبة المشقيات •

- ١- قشرة
- ٢- أقدام كاذبة

Order Helioza

٤- رتبة الشمسيات

وهي من ذوات الأقدام الكاذبة التي ينقسم جسمها الى جزء خارجي حوصلي (القشرة) وهو يحوى لفجوة المنقبضة وتخرج منه الأقدام الكاذبة وجزء داخلي (النخاع) يحوى النواه والفراغات الغذائية ، وللكثير منها هياكل بسيطة أو مركبة ومن أمثلتها أكتينوفريس Actinophrys (شكل ٦-١١)



شكل ٦-١١ : أكتينوفريس (رتبة

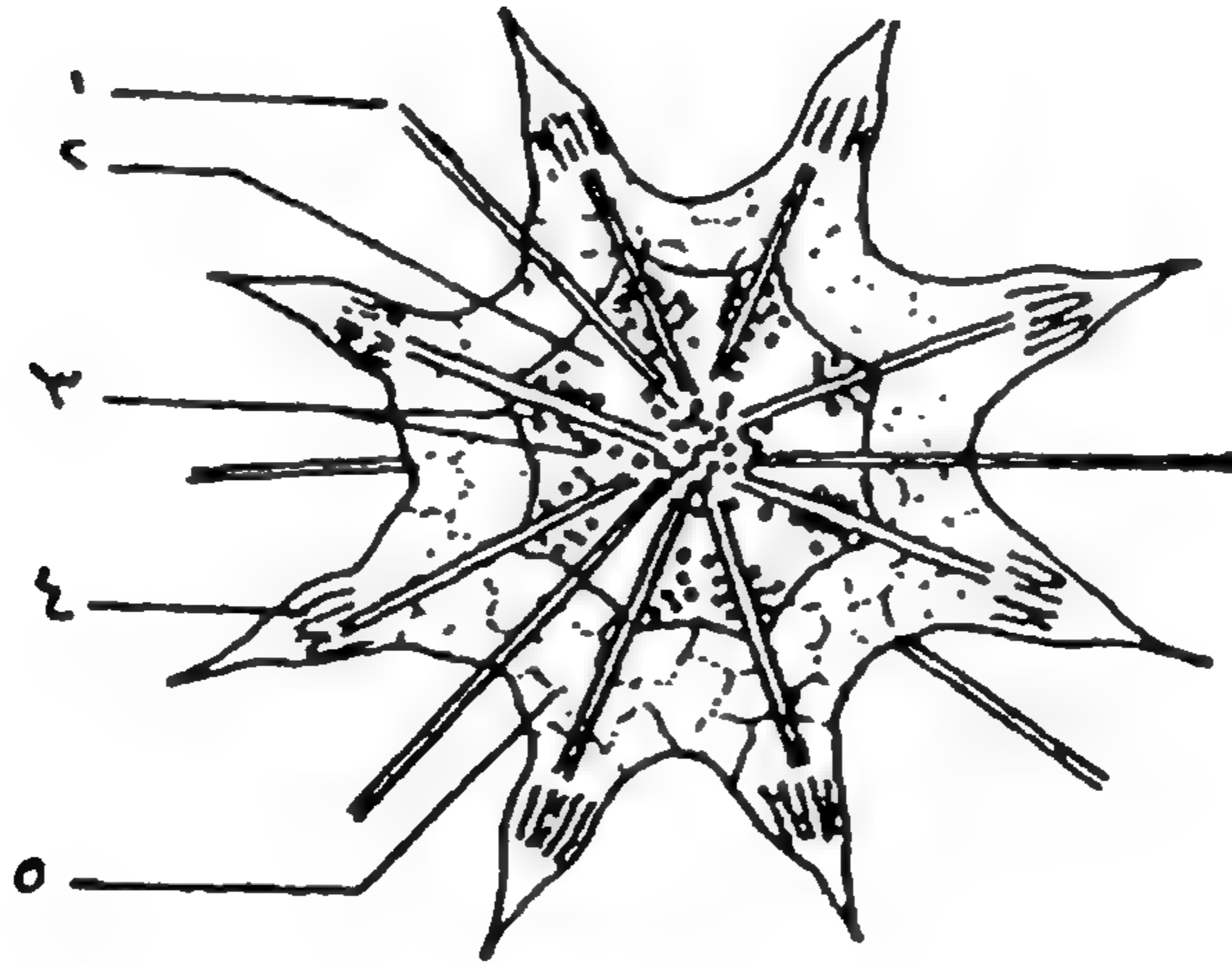
الشمسيات) •

- ١- اندوبلازم
- ٢- فجوة منقبضة
- ٣- أقدام محورية بها خيوط محورية •
- ٤- فجوة غذائية •
- ٥- نواة
- ٦- اكتوبلازم •

Order Radiolaria

٥- رتبة الشعاعيات:

وهي من ذوات الأقدام الكاذبة البحرية ، وبها غشاء يسمى الحوصلة المركزية يقسم السيتوبلازم الى منطقتين خارجية وداخلية ، وتنقسم المنطقة الخارجية الى ثلاث مناطق . وتحتوى بعض أفراد رتبة الشعاعيات أنواعا من الطحالب التي تتكافل معها . وتتكاثر أغلب الأنواع بتكوين جراثيم صغيرة ذات سياط . ومن أمثلتها الأكانثومترا *Acanthomitra* (شكل ١٢-٦) .



شكل ١٢-٦ : أكانثومترا (رتبة الشعاعيات)

- | | |
|---------------------|---------------------------|
| ١- شويكات هيكلية | ٢- بروتوبلازم داخلي |
| ٣- طحالب صفراء | ٤- خيوط سيتوبلازمية عضلية |
| ٥- بروتوبلازم خارجي | |

ثالثاً : قسم الجرثوميات Class Sporozoa

وهي البروتوزوا التي تكون الجراثيم Spores وهي تشمل عددا كبيرا من الكائنات على درجة كبيرة من الاختلاف فيما بينها . وليس لها أسواط — أو أهداب — فيما عدا بعض الجاميطات السوطية ، لذلك فهي غير متحركة أو تتحرك بالزحف Gliding . كل أفرادها متطفلة وتنتقل من عائل الى عائل في طور يعرف بالطور الجرثومي Spore stage . والجرثومة صغيرة الحجم ويحيط بها غلاف جرثومي Sporocyst سميك ، ولو أن بعضها مثل طفيل الملاريا ليس له هذا الغلاف السميك . وتنتشر الجرثوميات انتشارا واسعا وتصيب العديد من الفقاريات واللافقاريات . ودورة حياة الجرثوميات معقدة لدرجة كبيرة والكثير منها يقضى دورة حياتها في عائلين أحدهما فقارى والآخر لا فقارى بحيث يعمل الحيوان اللافقارى كوسيلة انتقال للطفيل من حيوان فقارى الى حيوان فقارى آخر . ويتميز في دورة الحياة نوعان من التكاثر هما :

- أ — التكاثر بالانشقاق : Schizogony وينتج عنه عدة أفراد في العائل الواحد.
- ب — التكاثر التزاوجي : Sporogony وينتج عنه تكوين الجراثيم التي تنقل الى العائل الآخر .

تمتاز الجرثوميات بعدم وجود أعضاء للحركة ، كما أنها تتغذى بالامتصاص فلا تبتلع الطعام وليس لها فم أو فتحات اخراجية ، وللجرثوميات نواه واحدة ، ومن أشهر أمثلة الجرثوميات طفيل البلازموديوم Plasmodium المسبب لمرض الملاريا .

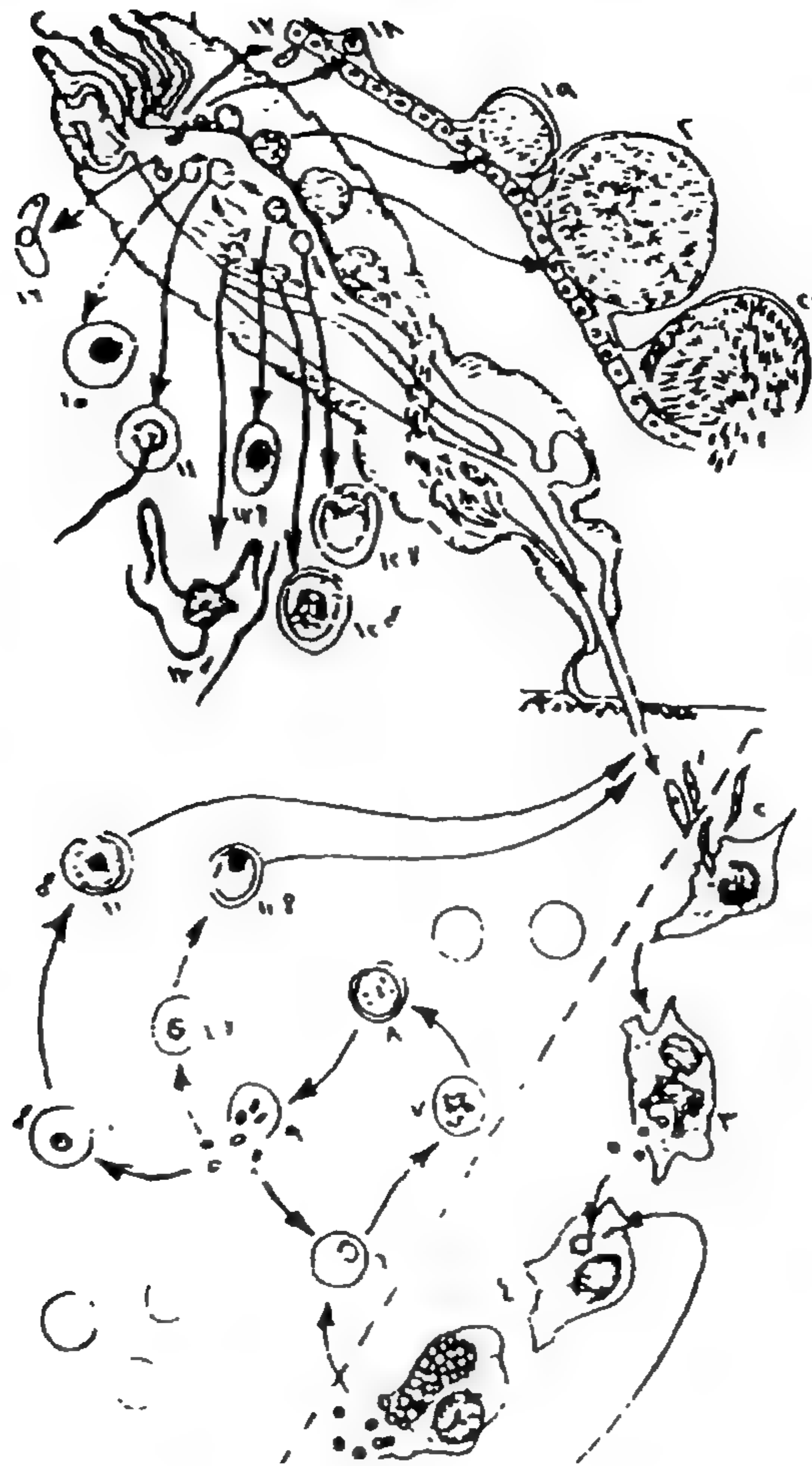
البلازموديوم Plasmodium

يتطفل البلازموديوم على خلايا الدم الحمراء وخلايا الكبد في الانسان وبعض الفقاريات الأخرى حيث يقضى دورة حياته اللاتزاوجية

، ويكمل دورة حياته في أنثى بعوضة الأنوفيليس حيث يقضى دورته التزاوجية ، وتتخلص دورة الحياة في دخول الطفيل أثناء طوره الجرثومي (الأسبوروزيت Sporozoite) في جسم الحيوان الفقارى مع لعاب البعوض الذى تحقنه في الجسم أثناء امتصاصها الدم . تصل هذه الأسبوروزيتات مع الدم الى الكبد حيث تستقر هناك وتتحول من الصورة المغزلية الى الصورة الدائرية وتكبر خلايا الطفيل وتنقسم نواتها السى نحو ١٠٠ جزء صغير وتحاط كل نواة بجزء من السيتوبلازم لتكون أفراد صغيرة تعرف باسم الميروزيتات التى تقوم بعضها بمهاجمة خلايا الكبد مرة أخرى حيث تكمن لفترة أخرى . بينما يهاجم بعض الميروزيتات كرات الدم الحمراء ويستقر فيها ويتحول الى جسم كروى يعرف بالطور الغذائى Trophozoite له نواة واحدة ويتغذى على محتويات الكرات الحمراء حتى يكبر ثم ينقسم الى العديد من الميروزيتات فتتفجر كرات الدم الحمراء وتنطلق الميروزيتات ومعها فضلاتها السامة لتهاجم كرات دم جديدة . . . وهكذا . . .

وعند انفجار كرات الدم الحمراء يصاب الانسان بحمى متقطعة تسبقه رعشة ويعقبها افراز عرق غزير ، ويؤدى هذا المرض الى الاصابة بفقر الدم (الأنيميا) وتضخم فى الطحال .

ويأتى الطور الثانى من دورة الحياة عندما يتغير سلوك بعض الميروزيتات ، فبدلاً من تكوين الطور الانقسامى داخل الكرات الحمراء فانها تستدير ويكون نموها بطيئاً ثم تغادر الكرات الحمراء وتعرف حينئذ بالخلايا الجاميطية Gametocytes . وبعضها يكون مذكر صغير الحجم والبعض الآخر مؤنث كبير الحجم . فاذا امتصت أنثى بعوض الأنوفيليس دم الانسان فى هذا الوقت فان معدتها تهضم جميع الأطوار عدا الخلايا الجاميطية . فتبدأ بذلك الدورة التزاوجية . فتقسم الخلايا الجاميطية المذكورة لتكون كلا منها من ٤-٨ جاميطات احادية المجموعة الكروموسومية ، أما المؤنثة فهي تنقسم انقسام اختزالى ثم تتلاقى الجاميطية المذكورة مع الجاميطية المؤنثة ويتكون الزيجوت الذى يحاط بغلاف رقيق والسدى يخترق جدار معدة البعوضة .



شكل ٦-١٣ : البلازموربيوم - دورة الحياة

- | | |
|---|---------------------------|
| ١- أسبوروزيتات في الدم . | ٢- أسبوروزيتات بدخل خلية |
| ٣- تكوين المبروزيتات . | ٤- كبدية . |
| ٥، ٤ : تكرار التكاثر العديد . | ٦- حيوان منقسم (Schizont) |
| ٧ : ٩ : تكرار التكاثر العديد . | |
| ١٠، ١١ : تكوين الجاميطات المذكرة الصغيرة والجاميطات المؤنثة الكبيرة | |
| ١٢، ١٣ : جاميطات مذكرة ومؤنثة . | |
| ١٤ : اخصاب الجاميطات المؤنثة . | ١٥- الريجوت . |
| ١٦ : ريجوت متحرك (أوكينيت) . | ١٧- أوكينيت مخترق جدار |
| ١٨ : تكوين الحويصلات الجرثومية . | المعدة |
| ١٩ : انتاج الأسبوروزيتات | |
| ٢٠، ٢١ : انطلاق الأسبوروزيتات وهجرتها الى العدد للعناية . | |

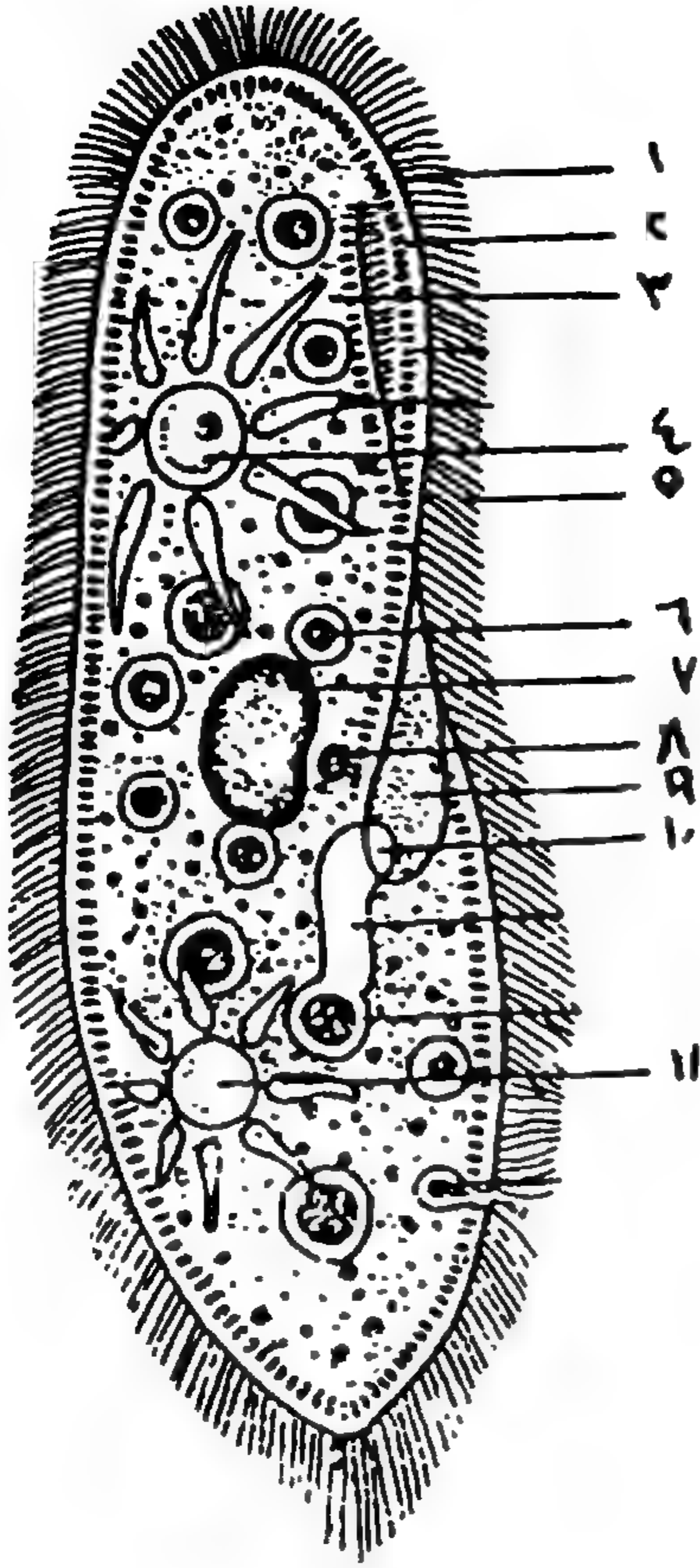
ويسمى عندئذ بالزيجوت المتحرك أو الأوكنيت Ooknite ثم يتحول خارج الغشاء المخاطي المبطن له ويعرف غشاء الحوصلة باسم Oocyst وينمو هذا الغلاف نموا كبيرا وتنقسم نواة الزيجوت لتكون عددا من الحوصلات الجرثومية يتكون داخل كل منها عدد وفير من الخلايا الجرثومية . ثم ينفجر غلاف الحوصلة وتخرج الخلايا الجرثومية السلي التجايف الدموية بجسم البعوض ومنها الى الغدد اللعابية لتجسد طريقها الى عائل آخر عندما تحقق البعوضة لعابها في جسمه أثناء امتصاص الدم . . وتلاحظ ظاهرة تبادل الأجيال في الملاريا حيث يحدث التكاثر اللاجنسي في دم الحيوان الفقري والتكاثر الجنسي في جسم البعوضة . (شكل ٦-١٣) .

رابعاً : قسم الهدبيات Class Ciliata

وهي البروتوزوا التي تتحرك بالعديد من الأهداب Cilia . والأهداب عبارة عن زوائد بروتوبلازمية تبرز من الاكتوبلازم ، وقد توجد هذه الأهداب طول مدة حياة الكائن أو أحد أطوار حياته فقط ، ولأغلب الهدبيات نواتان مختلفتان في الوظيفة والتركيب والحجم . وتتكاثر الهدبيات بالانقسام الثنائي وتعيش أغلب الهدبيات في المياه العذبة أو المالحة معيشة حرة Free living ويتطفل بعضها على الانسان أو الحيوانات الفقاريات الفقارية تطفلا داخلها وخارجيا . وقد وضعت هذه الكائنات في تحت عائلة حاملة الأهداب Subphylum Ciliophora ومن أمثلتها البراميسيوم Paramecium caudatum والتتراهيمينا Tetrahymena .

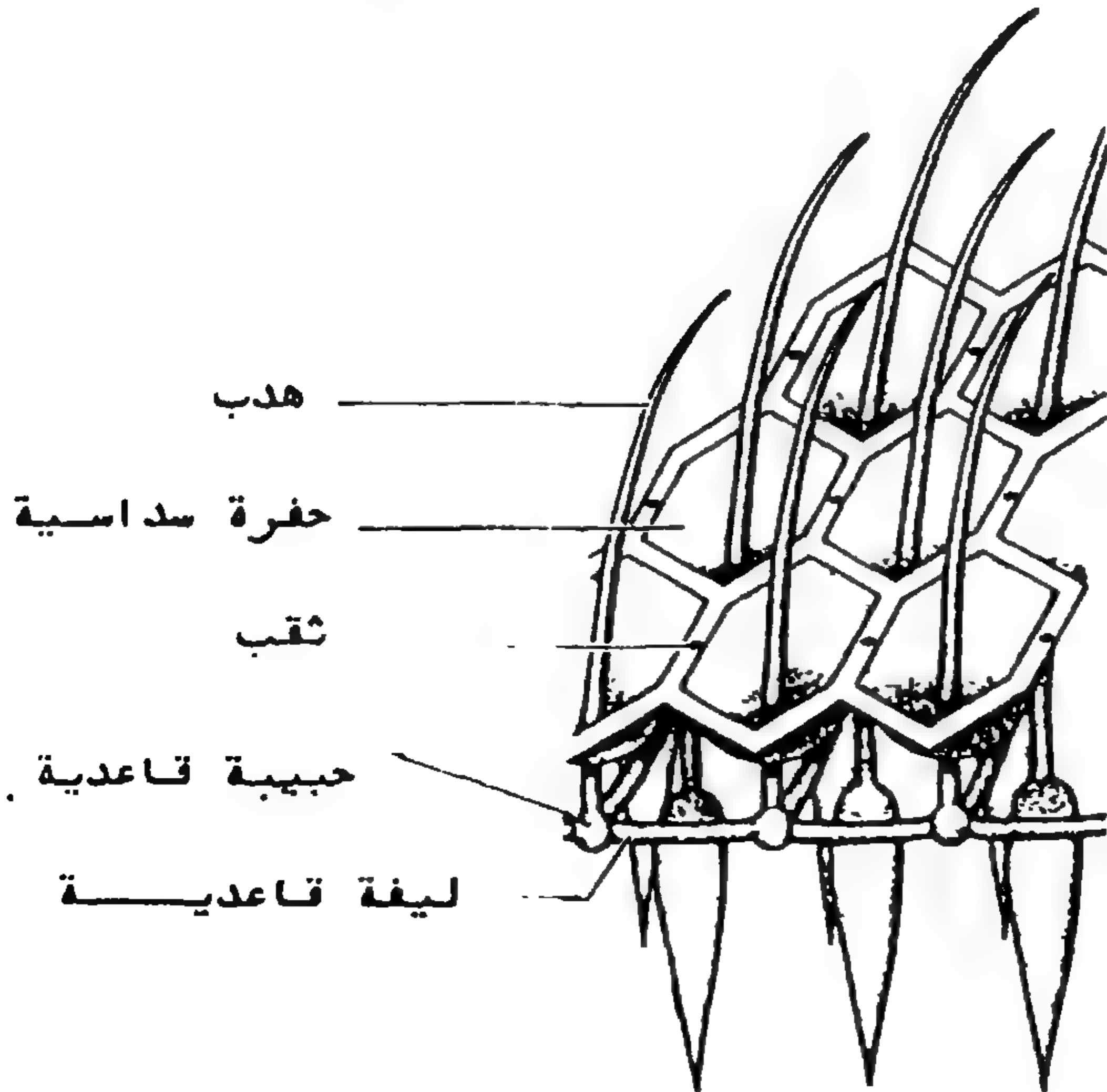
البراميسيوم Paramecium caudatum

وهو كائن حي دقيق يكاد يرى بالعين المجردة ويعيش في مياه النهر ومجاري المياه العذبة ، وهو سريع الحركة ذو شكل مغزلي . طرفه



شكل ٦-١٤ : البرامسيوم

- ١- جليد
- ٢- اکتوبلازم
- ٣- اندوبلازم
- ٤- فجوة منقبضة
- ٥- اهداب
- ٦- غذاء
- ٧- نواه كبيرة
- ٨- نواه صغيرة
- ٩- ميزاب فمي
- ١٠- قم الخلية
- ١١- فجوة منقبضة



شكل ٦-١٥ : جزء من سطح البرامسيوم ، مكبر جدا .

الخلاى مدبب والأمامى عريض (شكل ٦-١٤) وله فم فى صورة انخفاض مهدب على السطح البطنى . وتحيط الخلية أهداب منتظمة الطول فى صفوف طولية . ويتميز البروتوبلازم الى اکتوبلازم خارجى شفاف رقيق واندوبلازم داخلى حبيبي . وللبراميسيوم فراغان منقبضان عند طرفى الخلية ، وله أيضا نواتان ، احدهما كبيرة Macronucleus والأخرى صغيرة Micronucleus وكلاهما معلقتان فى السيتوبلازم قرب فتحة الفم . وتشاهد فتحة الاست خلف الطرف الخلفى للفم ، وعند الفحص الدقيق لسطح البراميسيوم (بعد المعالجة بمحلول كحولى ٣٥%) يشاهد مناطق سداسية (شكل ٦-١٥) لوجود قنوات دقيقة متقاطعة على سطحه تعطيه هذا الشكل ، ويبرز كل هدب وسط منطقة من هذه المناطق السداسية ، وتكون أهداب الطرف الخلفى للخلية أطول من بقية الأهداب . والهدب يشبه فى تركيبه السوط (فى السوطيات من البروتوزوا) فكل هدب يتكون من امتداد للغشاء السيتوبلازمى محتوى على تسعة أزواج من الأنابيب الرفيعة Microtubules مرتبة فى محيط أسطوانة يوجد فى مركزها زوج عاشر من هذه الأنابيب الرفيعة . وتخرج هذه الأهداب من جسم قاعدى Basal structure فى القشرة يسمى الأجسام الحركية Kinetosome ، وتتصل الأجسام الحركية فى صفوف Rows بواسطة ألياف Fibrils ، وتسمى هذه الصفوف أو الخطوط بالـ Kinetodesmata وهذه الصفوف أو الخطوط تكون جهاز حركى على درجة عالية من التنظيم ويسمى Kineties .

وهذا الجهاز الحركى Kineties موجود فى جميع الهدبيات حتى عندما تفقد الأهداب Cilia فى بعضها ، ويفطى سطح البراميسيوم بمئات الأهداب مرتبة فى خطوط طولية Kineties تعمل بحركة دورية منظمة . فالأهداب تتحرك وهى مرتخية الى الأمام ثم تضرب الماء بشدة راجعة الى الخلف . وهذه الحركة تدفع البراميسيوم للأمام ، والأهداب لا تعمل سوا فى وقت واحد ، ولكنها تعمل فى موجات تبدأ عند الطرف الأمامى للبراميسيوم وتنتشر نحو الطرف الثانى . كما أن الأهداب تضرب الماء بميل ، وهذا يسبب دوران البراميسيوم حول نفسه

فى الوقت الذى يتقدم فيه للأمام مثل فتاحة الفلين ، وقد يعكس البراميسيوم ميل الأهداب فيتحرك للخلف بدلا من الأمام .

التغذية : يتغذى البراميسيوم بالابتلاع Phagotrophic . فيلتهم البكتيريا والكائنات الصغيرة أو أجزاء المواد العضوية الدقيقة ، وذلك بأن تدفعها الأهداب الى الفم Cytosome (وهو فتحة فى مقدمة الخلية وتمتد الى ما بعد منتصف الخلية تقريبا) ويعمل الغشاء المتموج الموججود داخل الفم على ادخال الغذاء مع قليل من الماء بعد ذلك الى البلعوم Cytopharynx حيث يدخل فى البروتوبلازم مكونا فجوة غذائية Food vacuoles . وهذه الفجوات الغذائية تتكون على فترات عند قاعدة البلعوم صفة مستمرة . وتحرك هذه الفجوات فى البروتوبلازم نتيجة للحركة السيتوبلازمية Cytoplasmic streaming حتى يتم هضم الغذاء وامتصاصه ، أما البقايا الصلبة غير المهضومة فتخرج بانفجار الفراغ الغذائى عند فتحة الاست Cytoproct . ورغم أن البراميسيوم وعدد من الهدييات مثل التتراهيما Tetrahymena تتغذى فى الطبيعة بابتلاع الكائنات الأصغر منها ، الا أنه يمكن تنميتها فى المختبر فى مزارع نقية تحتوى على عناصر مغذية ذائبة . وتحت هذه الظروف فإن العناصر المغذية السائلة تؤخذ عن طريق فتحة الفم فى صورة قطيرات صغيرة داخل فجوات غذائية أيضا .

الخراج : يتم التخلص من ثانى اكسيد الكربون الناتج عن التنفس بالانتشار خلال الغشاء الخلوي للبراميسيوم . ولا شك أن التخلص من ثانى أكسيد الكربون بهذه الطريقة يكون ممكنا فقط فى البروتوزوا وغيرها من الكائنات الحية الدقيقة الصغيرة الحجم حيث تكون النسبة بين السطح والوزن كبيرة جدا ، وتسمح بتبادل الغازات .

أما التخلص من السوائل فيتم بتشغيل الفجوات المنقبضة Contractile vacuole والتي تقوم بضخ الماء الذى يدخل الخلية باستمرار نتيجة وجودها عادة فى وسط ذو ضغط أسموزى أقل من الضغط

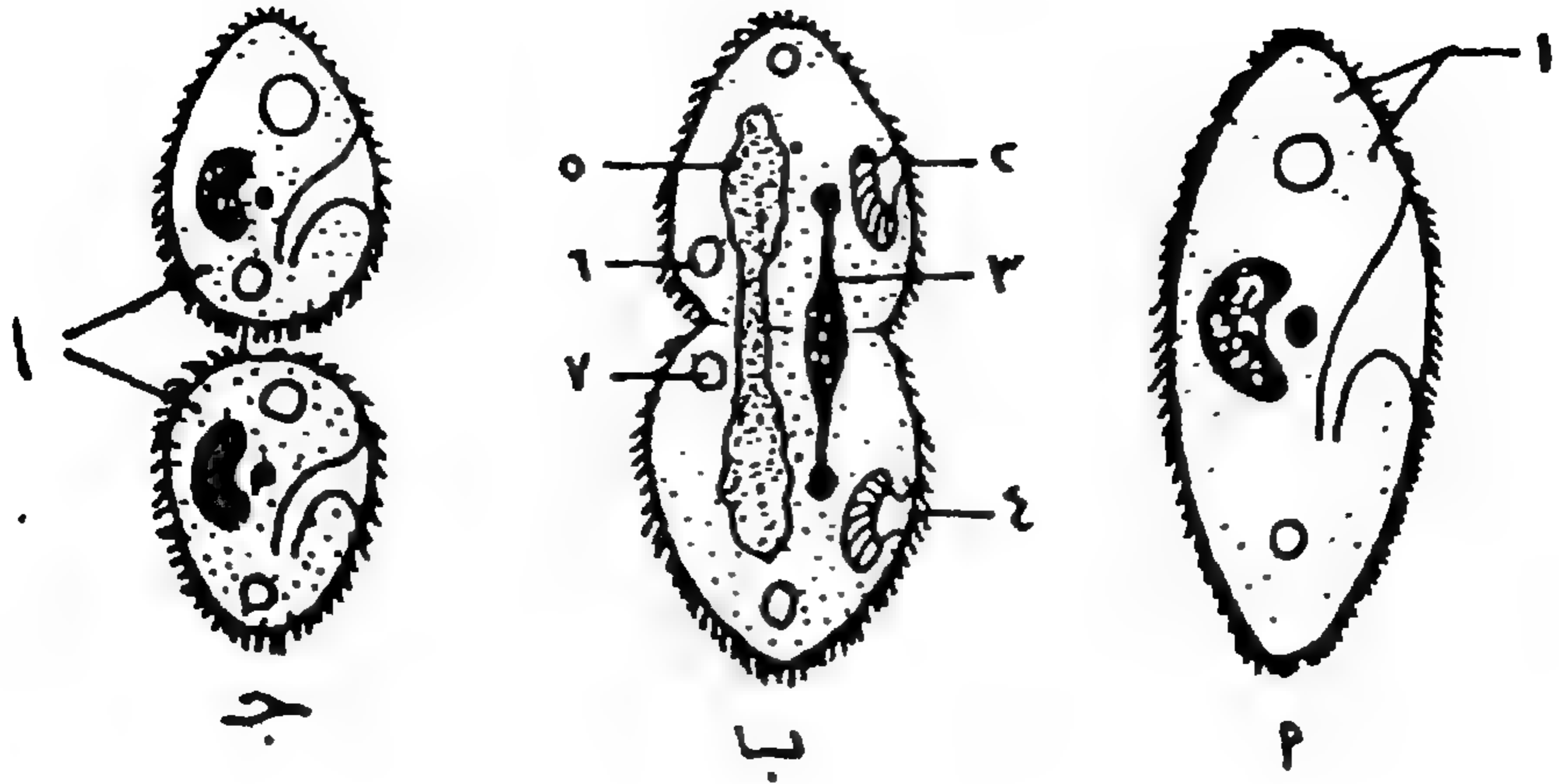
الأسموزى للسيتوبلازم . وتتكون الفجوات المنقبضة بتجمع عدد من الفجوات الصغيرة المفزلية ، وعندما تصل الفجوة المنقبضة الى الحجم الحرج فانها تنفجر طاردة مكوناتها الى الخارج من ثقب في الجليد Pellicle قرب نهاية الخلية ثم تبدأ فجوة جديدة في التكون والنمو مرة ثانية .

التكاثر : يتكاثر البراميسيوم باحدى الطرق الآتية :

- الانقسام الثنائي او الانشطار Binary fission
- التزاوج الجنسي Conjugation
- التزاوج الذاتى Autogamy
- الاختلاط الذاتى Endomixis

في الانقسام الثنائي تنقسم النواة انقساما غير مباشر وتتجه النواتان الى طرفي الخلية ثم يتكون فراغان منقبضان جديداً ويمتد البلعوم ويتبع ذلك ظهور حز أو اختناق في الوسط ينتهي بانقسام البراميسيوم الى خليتين (شكل ٦-١٦) .

أما في التزاوج الجنسي فيتم بالتصاق خليتين عن سطحيهما البطنيين ويحدث اتصال بروتوبلازمي بينهما وتتلاشى النواة الكبيرة في كل منهما ، أما النواة الصغيرة فتتقسم مرتين متتاليتين لتكوين ٤ أنوية في كل خلية . تتلاشى ثلاث من تلك الأنوية وتنقسم الرابعة انقساما واحداً لتكون نواة مذكرة ونواة مؤنثة ، وتمر النواة المذكرة من كل خلية الى الخلية الأخرى لتخصب النواة المؤنثة فيها ثم تنفصل الخليتان المتزاوجتان . ثم تنقسم نواة الزيجوت في كل فرد بعد ذلك ثلاث مرات لتكون ثمانية أنوية تنمو ٤ منها لتصبح أنوية كبيرة وتكون الأربعة الأخرى أنوية صغيرة ثم ينقسم كل فرد مرتين متتاليتين لينتج ٤ براميسيومات لكل منها نواة كبيرة ونواة صغيرة . (شكل ٦-١٧) .



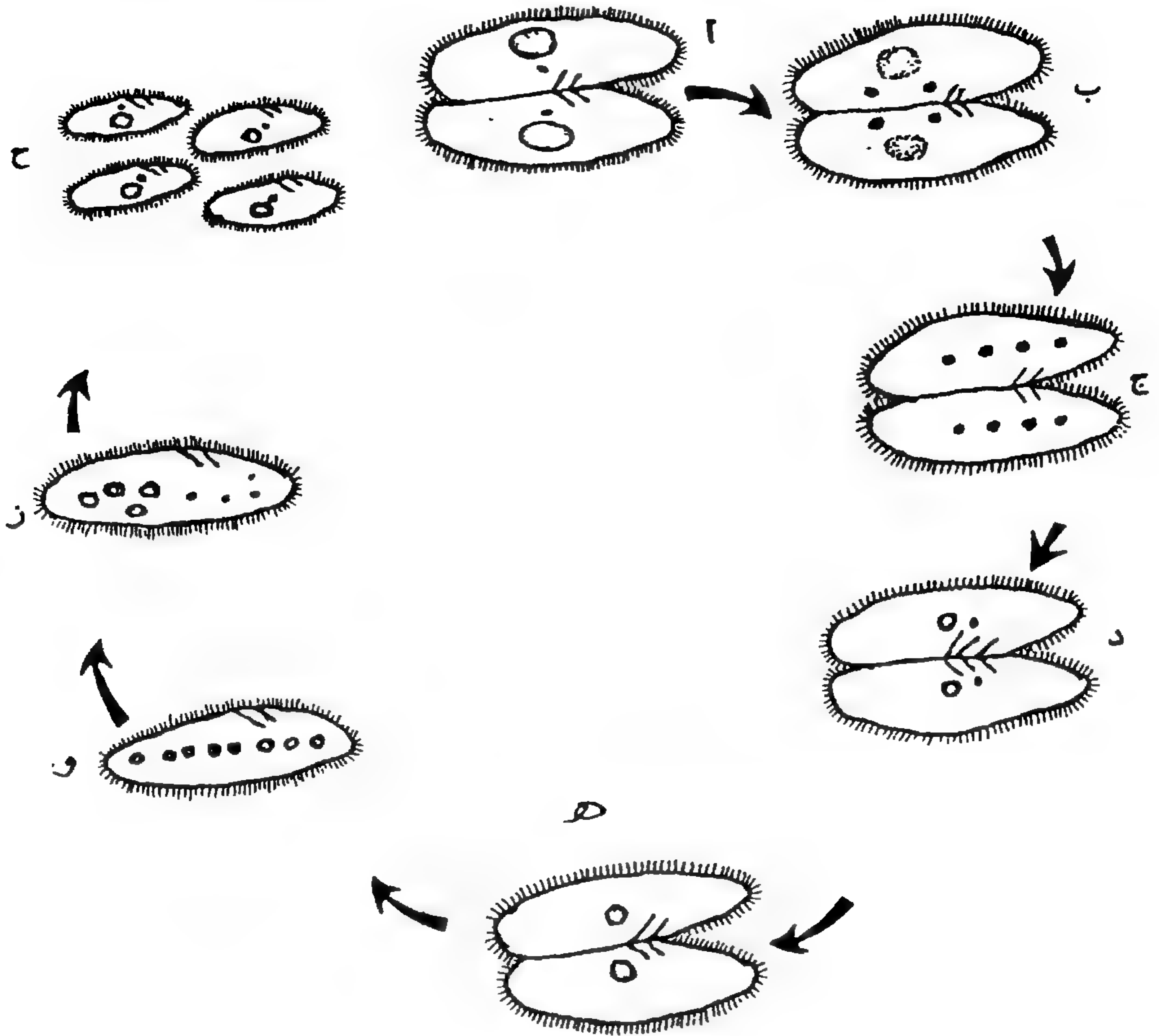
شكل ٦-١٦ : البراميسيوم - الانقسام الثنائي

أ - الخلية مستعدة للانقسام ب - بداية الانقسام
ج - خليتان

- | | |
|-----------------------|-----------------------|
| ١ - السيتوبلازم | ٢ - حول فم |
| ٣ - نواة صغيرة | ٤ - حول فم جديد |
| ٥ - نواة كبيرة | ٦ - فجوة منقبضة قديمة |
| ٧ - فجوة منقبضة جديدة | |

أما التزاوج الذاتي فيحدث في بعض أنواع البراميسيوم التي تحتوي على نواة كبيرة واحدة ونواتين صغيرتين . فتقسم النواتان الصغيرتان مرتين لتكون ثمانية أنوية تتلاشى بعدها النواة الكبيرة وستة من الأنوية الصغيرة وتبقى نواتان صغيرتان تمثل أحدهما النواة المذكورة والأخرى النواة المؤنثة فتندمج النواتان لتكوين الزيجوت . فتقسم نواة الزيجوت مرتين لتكوين ٤ أنوية ، اثنتان كبيرتان واثنان صغيرتان . ثم تنقسم كل نواة صغيرة مرة ثانية وينقسم في الوقت نفسه البراميسيوم لتكوين خليتين كل منهما يحتوي على نواة كبيرة ونواتين صغيرتين (شكل ٦-١٨) .

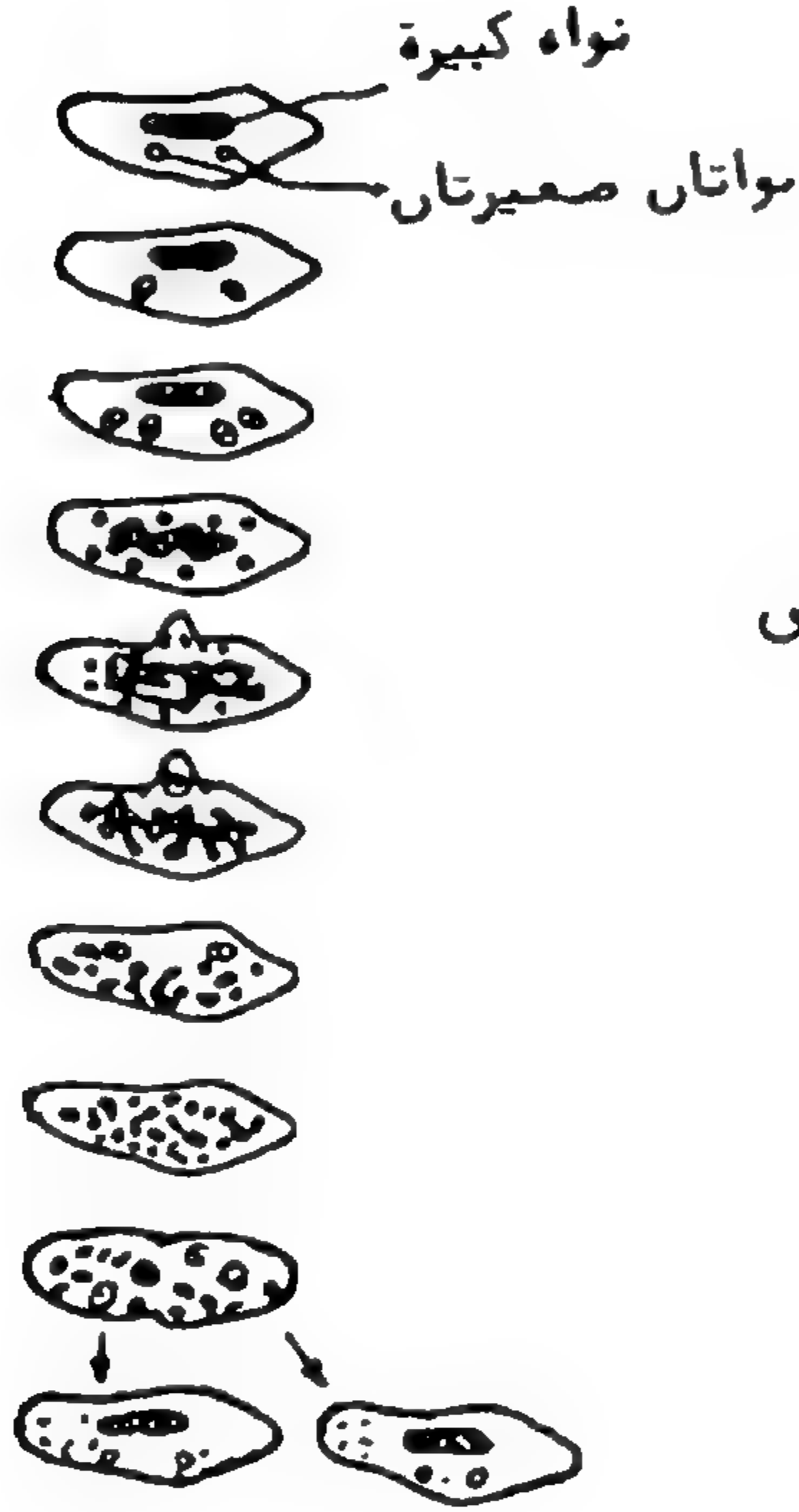
ويتم الاختلاط الذاتي باختفاء النواة الكبيرة ثم تنقسم النواتان الصغيرتان مرتين متتاليتين فيتكون ٨ أنوية تتلاشى ست منها ثم ينقسم



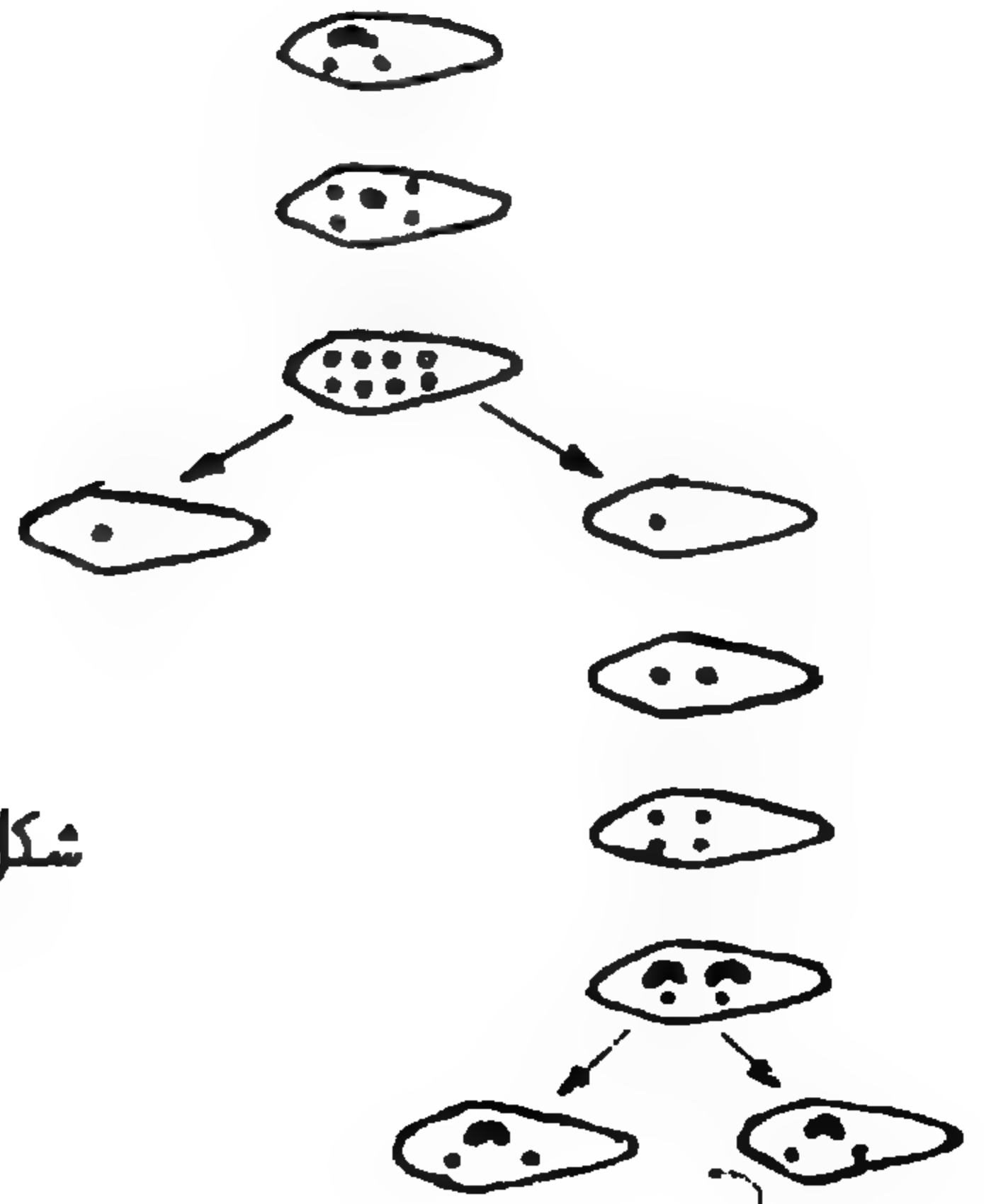
شكل ٦-١٧ : التزاوج الجنسي في البراميسيوم

- أ - تلتصق خليتين على سطحيهما البطنيين ويحدث اتصال بروتوبلازمي
- ب - تتلاشى النواة الكبيرة في كل خلية وتنقسم النواة الصغيرة لتنتج نواتين .
- ج - تنقسم النواتين الناتجتين عن الانقسام الأول لتعطي أربع نوايا في كل خلية .
- د - تتلاشى ثلاث من تلك الأنوية في كل خلية وتنقسم الرابعة لتعطي نواة مذكرة ونواة مؤنثة .
- هـ - تمر النواة المذكرة من كل خلية إلى الخلية الأخرى لتخصب النواة المؤنثة فيها ثم تنفصل الخليتان .
- و - تنقسم نواة الزيجوت في كل خلية ثلاث مرات لتعطي ثمان أنوية .
- ز - تنمو أربع أنوية منها لتكون أنوية كبيرة ، بينما تبقى الأربعة الأخرى أنوية صغيرة .
- ح - ينقسم كل فرد انقسامين متتاليين ليعطي أربع أفراد حدد يحتوي كل منها على نواة كبيرة ونواة صغيرة .

البراميسيوم بالانشطار ، وبذلك يكون في كل خلية نواة واحدة صغيرة تنقسم مرتين متتاليتين فينتج في كل خلية ٤ أنوية يكبر منها اثنان فيس حجم وتبقى الاثنان الأخرتين صغيرتين ثم تنقسم النواتان الصغيرتان وتنقسم كل خلية لتعطي خليتين تحتوي كل منها على نواة كبيرة ونواتين صغيرتين (شكل ٦-١٩) .



شكل ٦-١٨ : البراميسيوم - التزاوج الذاتي



شكل ٦-١٩ : البراميسيوم - الاختلاط الذاتي

الفصل السابع

الفطريات Fungi

الفطريات مثل البروتوزوا لا تستطيع القيام بالتمثيل الضوئي Photosynthetic وهناك بعض الفطريات الأولية المائية تشبه - لدرجة كبيرة - البروتوزوا السوطية (السوطيات) Flagellate Protozoa كما أن الفطريات تشبه الطحالب في احتوائها على جدر خلوية ، ولكن تختلف عنها في عدم القدرة على التمثيل الضوئي . ومع ذلك فهناك شبه اتفاق عام بين علماء الأحياء الدقيقة Microbiologists على الخطوط الفاصلة لهذه الكائنات (الفطريات) عن غيرها من البروتستس Protists (الطحالب والبروتوزوا) وان كانت الفطريات اللزجة Slime mold غير محددة الانتماء على وجه التأكيد في الوقت الحالي فهي تشبه البروتوزوا في بعض أطوار حياتها وتشبه الفطريات في أطوار أخرى من حياتها . وسنتعرض للفطريات اللزجة Slime mold في نهاية هذا الفصل ولو أنها ليست فطريات حقيقية True fungi . وينظر الكثير من العلماء الى الفطريات اللزجة على أنها الحلقة الوسطية لظهور الفطريات الحقيقية True fungi من البروتوزوا ، الا أن بعض العلماء يعتقدون أن الفطريات نشأت من الطحالب مرتكزين في اعتقادهم على التشابه الكبير بين الفطريات والطحالب ، فالجدر الخلوية لبعض الفطريات سليلسوزي مثل الجدر الخلوية للطحالب كما أن الفطريات أجسامها الخضرية خيطية مثل الأجسام الخضرية لكثير من الطحالب . ويساند الطائفة الأخيرة من العلماء التجارب المعملية التي أجريت على بعض الطحالب فسي المعامل محولة اياها الى كائنات تشبه الفطريات الى درجة كبيرة . فعند معاملة طحلب اليوجلينا Euglena بالمضاد الحيوي استربتومايسين أو بجرعات منخفضة من الأشعة فوق البنفسجية فإن هذا الطحلب يفقد القدرة على بناء الكلوروفيل ويصبح طحلب عديم اللون ويشبه بذلك الفطريات الى درجة كبيرة . كما توجد تشابهات أخرى بين الطحالب والفطريات مثل التشابه بين طحلب الفوشيريا Voucheria وفطر البوجو Albugo من حيث طريقتي التكاثر اللاجنسي والجنسي

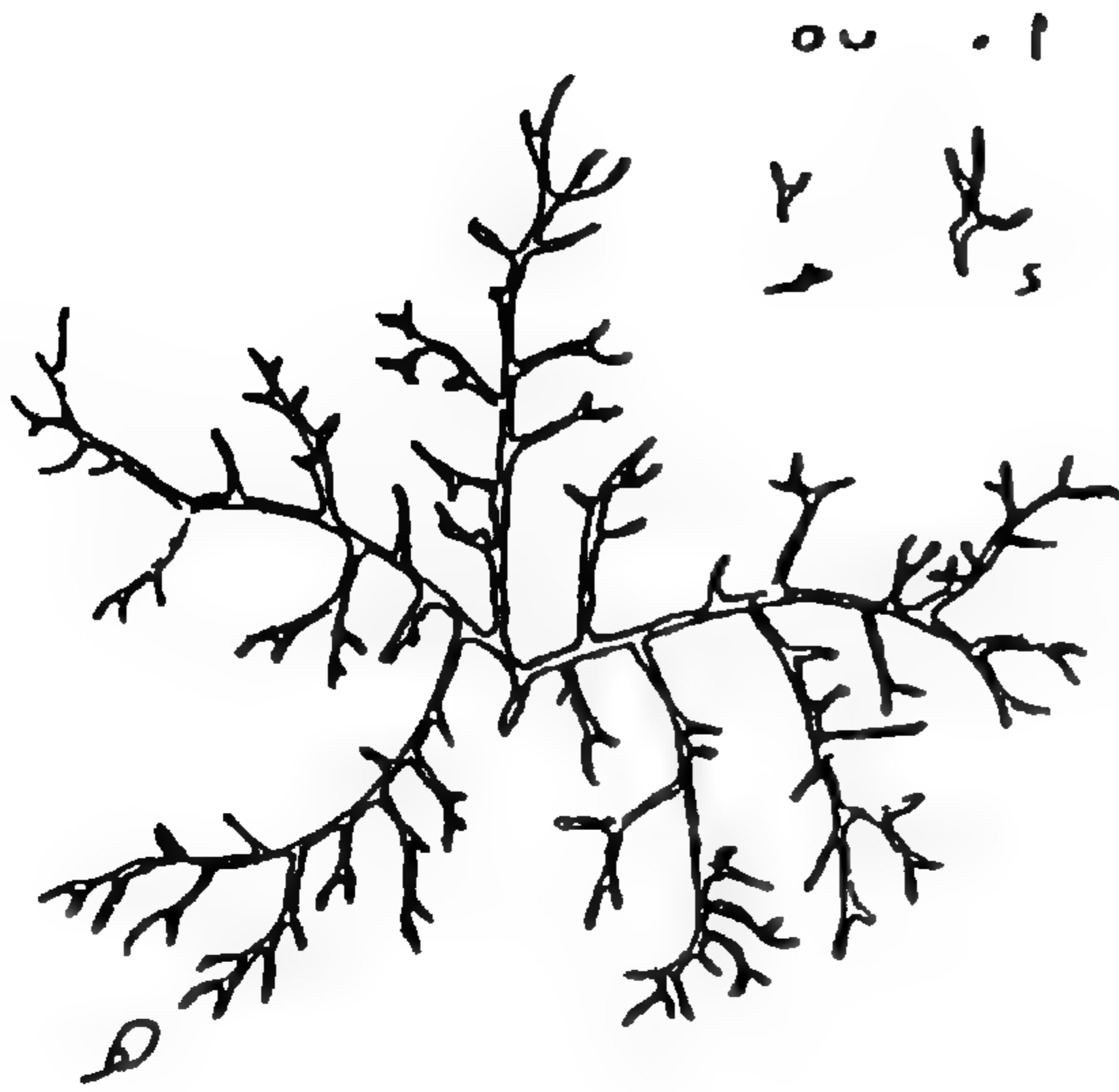
والتالوس Thallus غير المقسم وغيرها . . .

المصفات العامة للفطريات General features of fungi

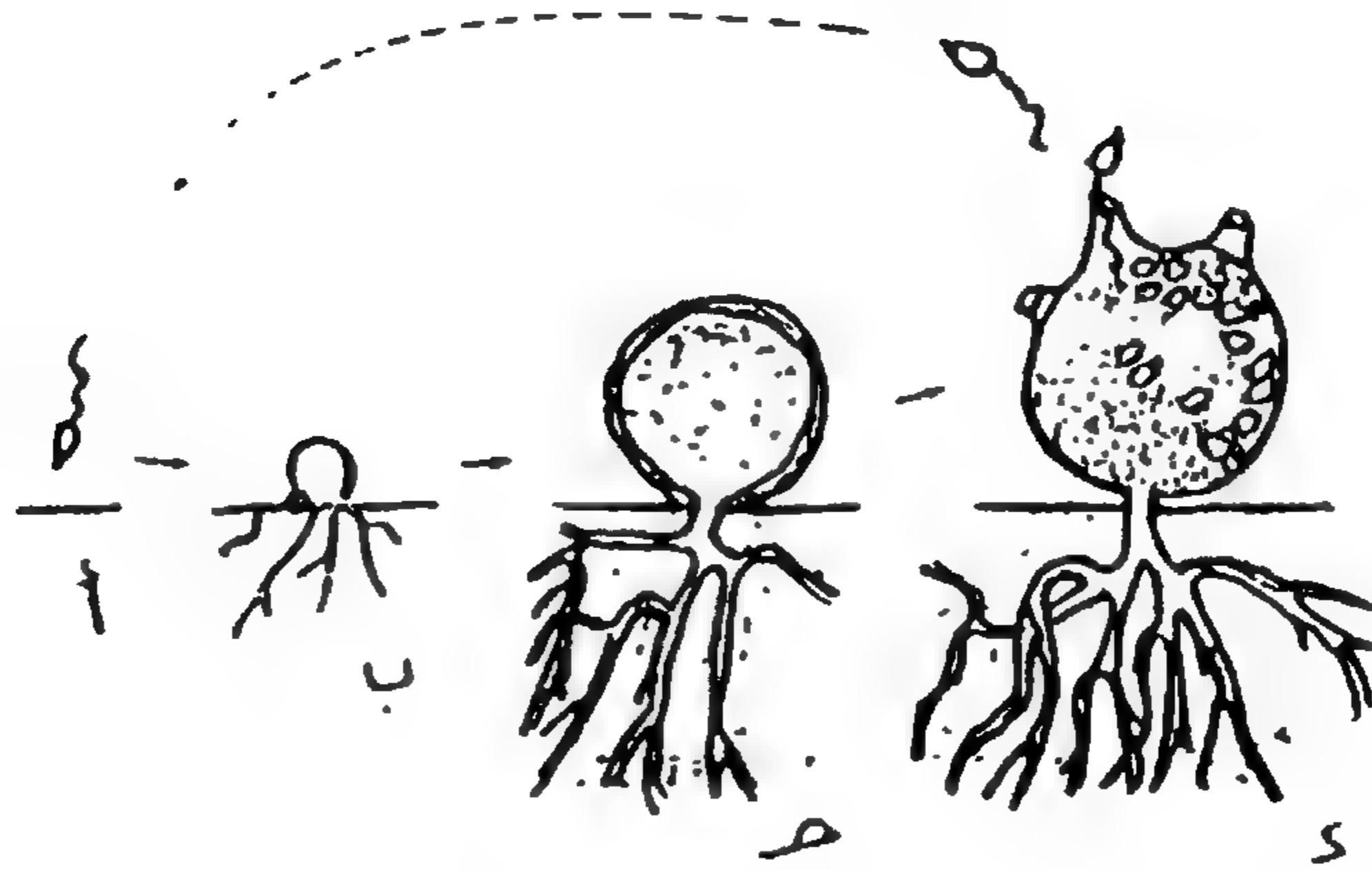
معظم الفطريات عديدة الأنوية Coenocytic ولها تركيب خضري يعرف بالميسليوم Mycelium . ويتكون الميسليوم من كتلة بروتوبلازمية عديدة الأنوية محاطة بنظام متفرع من الأنابيب الصلبة ذات قطر متماثل الى درجة كبيرة . وتمثل هذه الأنابيب نظام حماية لهذه الكتلة السيتوبلازمية مثلها في ذلك مثل الجدار الخلوي للكائنات وحيدة الخلية ذات الجدار الخلوي . ويتكون هذا الميسليوم نتيجة لانبات ونمو خلية تكاثرية أو جرثومية Spore . فبعد انبات الجرثومة تتكون أنبوبة خيطية طويلة تسمى الهيفا Hypha وتتفرع هذه الهيفا عدة تفرعات نامية لتكون العديد من الهيفات Hyphae (شكل ٧-١) وتسمى كتلة الهيفات هذه بالميسليوم ، والميسليوم هو التالوس Thallus أو النمو الخضري Vegetative structure الخاص بالفطريات بصفة عامة . وعندما ينمو الميسليوم يختفي السيتوبلازم من الأجزاء القديمة المركزية منه . ويستمر الميسليوم أحيانا في النمو — طالما توفرت العناصر الغذائية والظروف البيئية المناسبة — لمدى غير محدود ، وقد يصل قطر الميسليوم الواحد في بعض أفراد الفطريات البازيدية الى خمسون قدما .

من الصفات المميزة للفطريات أن النمو يتم من أطراف الهيفات ، لذلك فان السيتوبلازم يتحرك من الأجزاء المركزية القديمة في اتجاه أطراف الهيفات النامية .

تتكاثر معظم الفطريات لا جنسيا بتكوين جراثيم وحيدة النواة أو متعددة الأنوية وتتكون هذه الجراثيم — عادة — من أطراف الهيفات . وفي الفطريات الراقية كالفطريات الأسكية والبازيدية تتميز الجراثيم والميسليوم بعدم القدرة على الحركة . رغم ان المكونات الداخلية للسيتوبلازم تظهر حركة سيتوبلازمية Cytoplasmic streaming ولكن



شكل ١-٢ : المراحل المتتالية لنمو
الميسليوم من خلية تكاثرية أو جرثومة
كونيدية



شكل ٢-٣ : دورة حياة أحد فطريات Chytrids • لاحظ
أن الجرثومة الحيوانية

أ- تقع على سطح بيئة مناسبة لتتبعث •
ب- ويتكون أشباه جذور متفرعة لتثبيت الفطر بالبيئة و لا تمتص العناصر
الغذائية ويؤدي استمرار النمو •

ج- إلى تكوين أكياس جرثومية Zoosporangium

د- ينفتح الكيس الجرثومي لتتطلق منه جراثيم حيوانية سابحة Zoospores
تتحرك بواسطة أسواط لتعيد دورة الحياة مرة ثانية •

هذه الحركة السيتوبلازمية لا يمكن ترجمتها لحركة فعلية للميسليوم على الأسطح لوجود الجدر الخلوية محيطة بالسيتوبلازم احاطة تامة . وأبسط تعريف للميسليوم هو أنه كتل سيتوبلازمية متعددة الأنوية تتحرك داخل نظام متفرع من الأنابيب .

وحيث أن الميسليوم قادر على النمو غير المحدود فهو أحيانا يصل الى أحجام كبيرة جدا ترى بالعين المجردة . ولكن ذلك لا يحدث في الطبيعة الا نادرا نظرا لأن الفطريات تنمو عادة مدفونة في التربة أو في بيئات أخرى معتمة غير شفافة .

يكون عدد كبير من الفطريات (فطريات عيش الغراب Mushrooms) أجسام ثمرية حاملة للجراثيم ظاهرة فوق سطح التربة . وهذه التركيبات عرفت منذ قديم الزمن وحتى قبل بداية علم الأحياء الدقيقة Microbiology . ورغم عدم المعرفة التامة بهذه التركيبات الا أنه مما لا شك فيه أن هذه التركيبات الثمرية لفطريات عيش الغراب كانت أحد الأسباب الهامة لوضع الفطريات ضمن المملكة النباتية بالرغم من عدم قدرة الفطريات على التمثيل الضوئي .

وحيث أن الفطريات محاطة بجدر خلوية فانها غير قادرة على الحركة رغم الحركة السيتوبلازمية الواضحة فيها . وهي غير قادرة على ابتلاع الكائنات الدقيقة أيضا . لذلك فمعظم الفطريات تعيش معيشة حرة Free living في التربة أو الماء ، وتحصل على الطاقة بتخمير أو أكسدة المواد العضوية الموجودة في البيئة التي تعيش فيها وتتطفل بعض الفطريات على النباتات وعلى الحيوانات . قليل من الفطريات الأرضية مفترس Predators نتيجة قدرتها على تكوين مصائد خاصة بواسطة هيفات متخصصة لصيد البروتوزوا واللافقاريات الصغيرة وقتلها والتغذية عليها . فبعد موت الضحية يهاجم الفطر جسم الحيوان بنمو الهيفات فيه وامتصاص العناصر المغذية منه .

تقسيم الفطريات

- تشمل الفطريات الحقيقية ثلاث مجموعات أساسية وهي :
- ١- الفطريات البدئية (أو الفطريات الأولية Primitive fungi) :
وهي تشمل الفطريات الشبيهة بالبروتوزوا وتسمى الفطريات الطحلبية Phycomycetes ويكون الميسليوم فيها غير مقسم بجدر عرضية وتتكاثر جنسيا بالجراثيم الزيجية أو الجراثيم البيضية .
 - ٢- الفطريات الراقية Higher fungi
ويكون الميسليوم فيها مقسما بجدر عرضية ، وتقسم إلى مجموعتين أساسيتين حسب طريقة تكوين الجراثيم الجنسية :
 - أ- الفطريات الأسكية Ascomycetes : وهي تتكاثر جنسيا بالجراثيم الأسكية Ascospores التي تتكون داخلًا في أكياس أسكية .
 - ب- الفطريات البازيدية Basidiospores : وهي تتكاثر جنسيا بالجراثيم البازيدية Basidiospores التي تتكون خارجيًا على حوامل بازيدية .
 - ٣- الفطريات الناقصة Imperfect Fungi : وهي تلك الفطريات التي لم يكتشف فيها طور جنسي ، وبذلك أصبح من غير الممكن وضعها في المكان المناسب من الأقسام السابقة . وكلما اكتشف الطور الجنسي لأحدها فانه ينقل من هذا القسم إلى مكانه المناسب وتسمى الفطريات الناقصة باسم Deutromycetes .

أولاً : الفطريات البدئية Primitive fungi

بالرغم من أن التربة هي أكثر الأماكن التي تنمو فيها الفطريات بصفة عامة إلا أن عدداً من الفطريات الأولية تنمو في المياه . وتعرف مثل هذه الفطريات باسم الفطريات المائية Water molds أو الفطريات الطحلبية المائية Aquatic Phycomycetes وهي أكثر الفطريات شبيهاً

بالبروتوزوا من حيث تكوينها جراثيما متحركة بالأسواط ، وتشبه فسي ذلك السوطيات من البروتوزوا ، وعلاوة على هذه الفطريات الطحلبية المائية Aquatic Phycomycetes فانه يوجد عدد آخر من الفطريات الطحلبية وهي الفطريات الطحلبية الأرضية Terrestrial Phycomycetes وهي تبتعد عن البروتوزوا وتشبه الفطريات الراقية .

أ- الفطريات الطحلبية المائية : Aquatic Phycomycetes

تعيش معظمها معيشة حرة على المواد الحيوانية والنباتية المتحللة في البحيرات والمستنقعات ، وبعضها متطفل يهاجم الطحالب أو البروتوزوا .

وكما سبق الذكر فان هذه الفطريات هي أقرب الفطريات شبيها بالبروتوزوا فهي تكون جراثيم متحركة أو جاميطات متحركة بواسطة أسواط ، والصورة البسيطة من هذه الفطريات المائية لا تكون ميسليوم مثل ميسليوم الفطريات الراقية والفطريات المعروفة باسم Chytrids (شكل ٧-٢) هي أكثر الأمثلة وضوحا على ما ذكر . فتبدأ دورة الحياة بسقوط جرثومة حيوانية سابحة Zoospore على سطح بيئة مناسبة ، فتفقد سوطها وتنبت مكونة أشباه جذور Rhizoids تثبت جسم الفطر بالسطح الذي سقطت عليه وتمتص العناصر المغذية من هذا السطح لينمو الفطر مكونا جسما كرويا ذو جدار سميك يكبر في الحجم يسمى الكيس الجرثومي الأسبورانجي Zoosporangium وتنقسم نواته العديد من المرات وتحاط كل نواة بكتلة سيتوبلازمية ثم تغلف بجدار صلب مكونة جراثيم حيوانية سابحة Zoospores مزودة بأسواط تسمح لها بالحركة في السوائل عند انفجار الكيس الجرثومي الأسبورانجي . وتسبح هذه الجراثيم حتى تصل الى سطح آخر مناسب لنموها فتستقر وتعيد دورة الحياة مرة ثانية .

وتختلف الفطريات الطحلبية المائية عن بعضها اختلافات جوهرية في دورة الحياة وميكانيكية التكاثر ، ويمكن توضيح ذلك بمقارنة الـ Chytrid السابق الذكر بفطر طحلي مائي آخر وهو فطر اللوميسيز Allomyces

تتضح في هذا الفطر (اللوميسيز Allomyces) ظاهرة تبادل الأجيال النادرة الحدوث في الفطريات فيتبادل الثالوس الجاميطي Thallosus وهو أحادي الأساس (المجموعة) الكروموسومي (الصبغي) Haploid مع الثالوس الجرثومي Sporophyte or sporothallus وهو ثنائي الأساس الكروموسومي Diploid . والthallosus الجرثومي عند نضجه يشبه شجرة مجهرية مثبتة في السطح بأشياء جذور Rhizoids تحمل هذه الشجرة نوعين من الأكياس الجرثومية أحدهما ذو جدر رقيقة وناعمة الملمس عديمة اللون وتسمى Mitosporangia والثاني ذو جدر سميكة محببة داكنة اللون وتسمى Meiosporangia . وعند النضج ينتج كلا النوعين من الأكياس الجرثومية جراثيما متحركة بواسطة أسواط . والجراثيم التي تخرج من أكياس Mitosporangia تسمى Mitospores وهي ثنائية الأساس الكروموسومي Diploid وعندما تنبت تكون الثالوس الجرثومي Sporothallus والجراثيم التي تنتج من أكياس Meiosporangia تسمى Meiospores وتتكون بعد حدوث خطوة انقسام اختزالي ، ولذلك فهي أحادية الأساس الكروموسومي ، وعندما تنبت تكون الثالوس الجاميطي Gametothallus . والthallosus الجاميطي يشبه الثالوس الجرثومي ، إلا أنه يحمل أكياسا جاميطية ذكورية Male gametangium طرفية ويتكون أسفلها أكياس جاميطية مؤنثة Female gametangium ويخرج من الأكياس الجاميطية جاميطات Gametes متحركة . وتكون الجاميطات المؤنثة عادة أكبر حجما من الجاميطات المذكرة . تتزاوج الجاميطات وتتكون زيجوتات سابحة مزدوجة الأسواط لا تلبث أن تستريح وتفقد الأسواط وتنبت معطية ثالوسات جرثومية وتعيد دورة الحياة (شكل ٧-٣) .

ب - الفطريات الطحلبية الأرضية : Terrestrial Phycomycetes

تختلف الفطريات الطحلبية الأرضية عن الفطريات الطحلبية المائية في أن الأولى عادة تنتج خلايا تكاثرية (جراثيم) غير مزودة بأسواط للحركة ، ولذلك فمثل هذه الجراثيم تكون غير متحركة ، وهذه الصفة (غياب الحركة) تشترك فيها الفطريات الطحلبية الأرضية مع الفطريات

الراقية (التابعة للفطريات الأسكية والفطريات البازيدية) . وغيااب الحركة فى الفطريات الراقية يمكن فهمه على اعتبار أن هذه الفطريات لا تعيش فى الماء وبالتالى فان الأسواط التى تمكن الجراثيم من السباحة لا حاجة لها فى هذه الفطريات والتى تعيش معيشة أرضية وتنتشر جراثيمها بالهواء من مكان لآخر . وكمثال للفطريات الطحلبية الأرضية نناقش هنا الفطر Rhizobus .

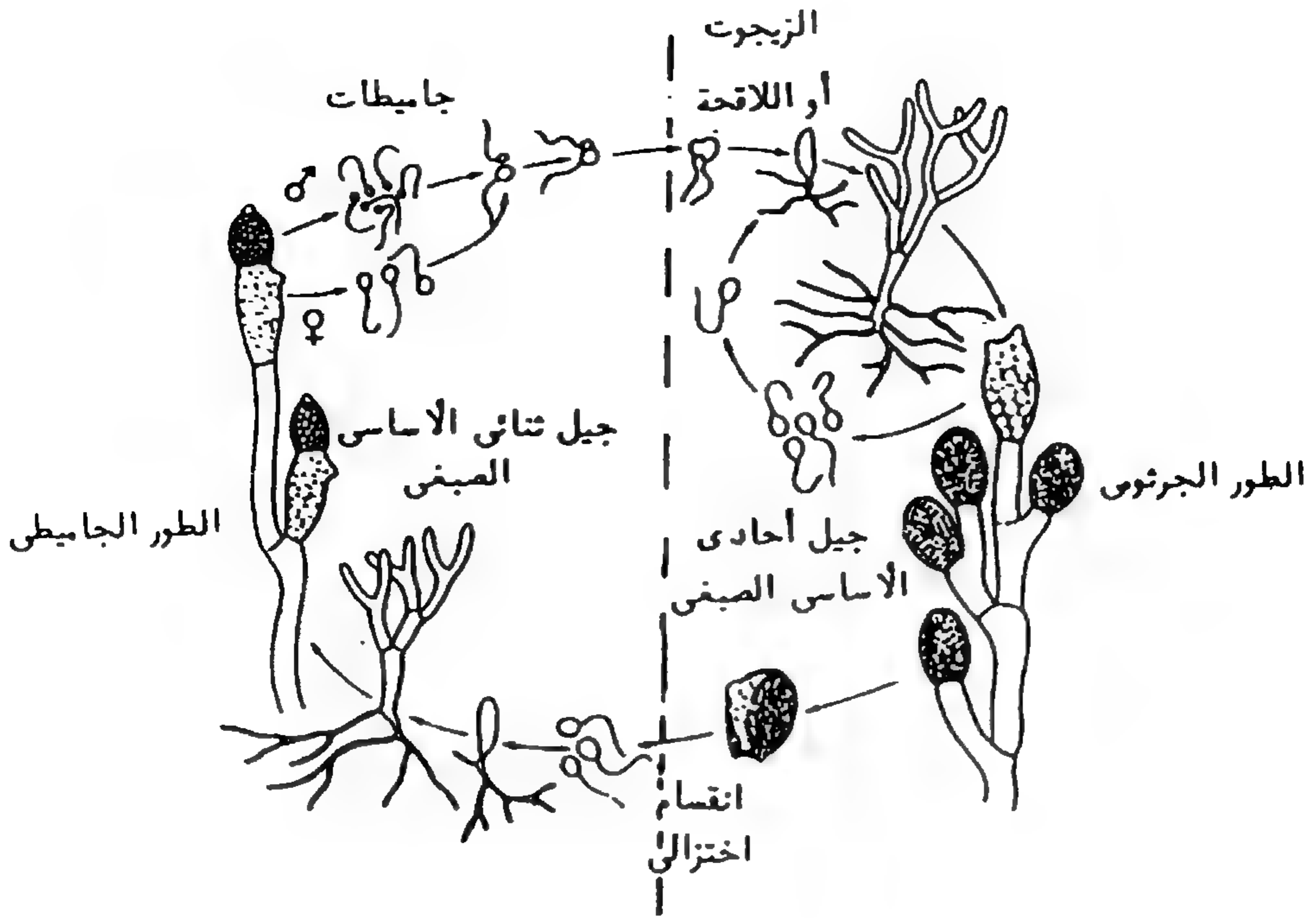
الفطر ريزوبس Rhizobus

يعيش هذا الفطر رميا فى التربة كما يسبب عفنا لكثير من الفواكه والخضر المخزنة مثل العنب والفراولة والبطاطا ، كما يسبب عفنا جافا للوز القطن . ويسبب أضرار لكثير من الأغذية . وينمو على الخبز مكونا عفنا أسود ، والميسليوم يتميز بوجود هيفات خاصة تسمى أشباه الجذور Rhizoids وهى تثبت الفطر بالبيئة وتمتص الغذاء من البيئة وتخرج أشباه الجذور هذه من هيفات مدادة Stolons (شكل ٧-٤ أ) تنمو أفقيا على سطح البيئة ويخرج من الهيفات المدادة فى مناطق أشباه الجذور نموات هيفية قائمة هى حوامل الأكياس الأسبورانجية - Sporangio- ophore . وهذه الحوامل تحمل فى أطرافها الأكياس الأسبورانجية Sporangia ومفردها Sporangium وهى كروية الشكل عادة ، ويتكون بداخلها جراثيم لا جنسية تسمى الجراثيم الأسبورانجية Sporangiospores

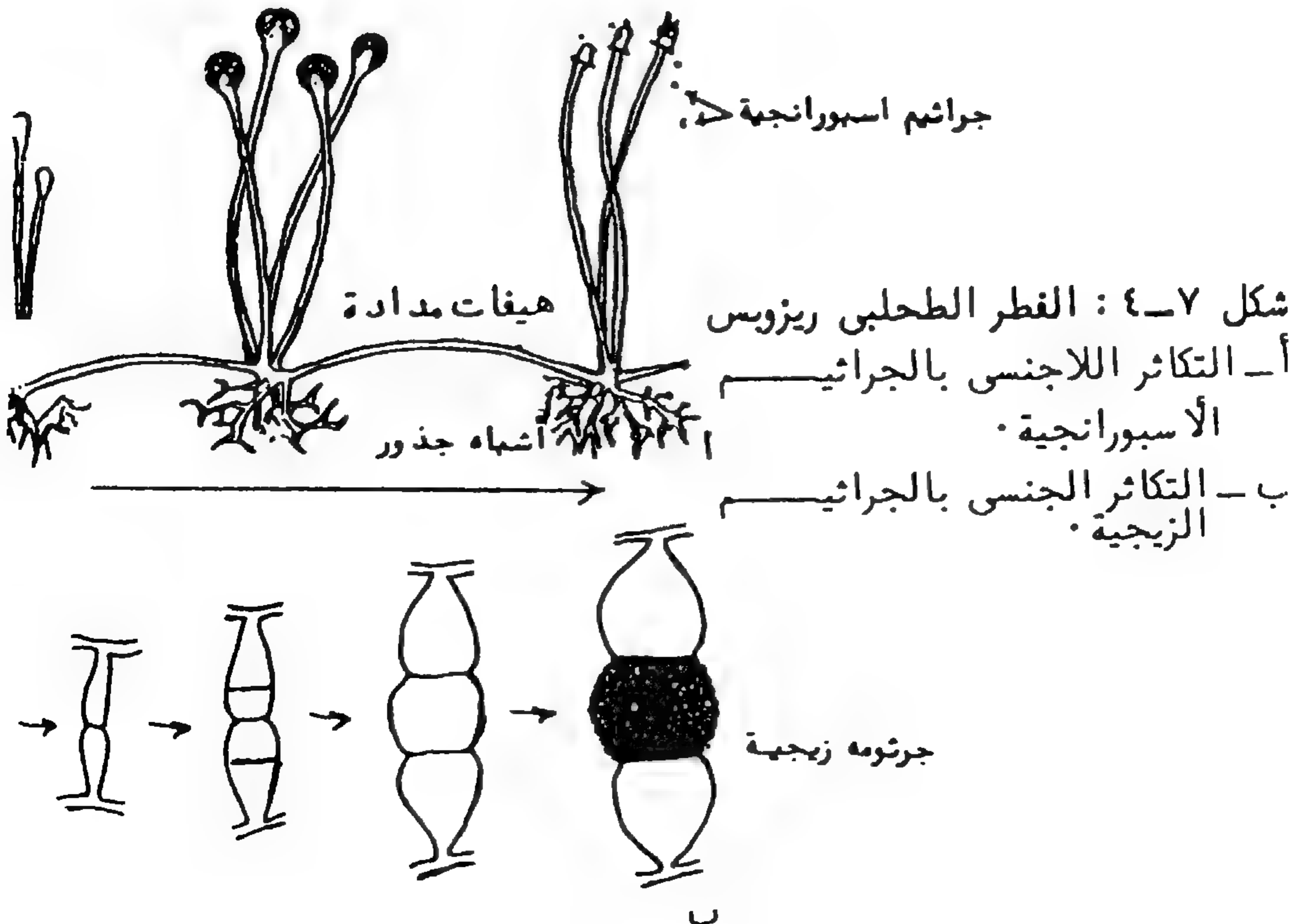
تتضخم نهاية الحامل داخل الكيس الجرثومى مكونة Columella وبعد تمام نمو الكيس الجرثومى يتمزق جدار الكيس الرقيق وتنتشر الجراثيم الأسبورانجية فى الهواء الى أن تسقط فى وسط مناسب لنموها فتنبست وتعيد دورة الحياة ، والجراثيم الأسبورانجية لا يسبق تكونها أى عمليات تزاوجية ، ولذلك فهى جراثيم لا جنسية .

وهى كما لاحظنا تتكون داخل أكياس تميزها عن الجراثيم الكونيدية التى تتكون خارجيا فى الفطريات الراقية .

أما التكاثر الجنسي فى هذا الفطر ريزوبس Rhizobus / شكل



شكل ٣-٧ : دورة حياة الفطر المائى اللومايسيز الذى يظهر منه ظاهرة تبادل الاجيال .



٧-٤ ب) ٠٠ فيبدأ بنمو فرعين قصيرين من هيفتين ناتجتين من ثالوسين مختلفين حيث أن الفطر متباين الثالوس Heterothallic وهذا الفطر يختلف عن فطر اللوميسيز Allomyces ذو الثالوس المتشابه Homothallic والذي ينتج نوعي الخلايا الجنسية على نفس الميسليوم .

أما في الريزوبس Rhizobus فان نوعي الميسليوم اللذان يحدث بينهما التزاوج تسمى السلالتين (+) ، (-) لأنه لا يوجد أي فروق ظاهرية بينهما توضح صفات الذكورة أو الأنوثة .

وبعد ظهور الفرعين القصيرين من نوعي الميسليوم يلتقي الفرعان ويتكون جدار عرضي Cross wall يفصل طرفي الفرعين عن الهيفات الفرعية وتسمى الخلية الطرفية في هذه الحالة الكيس الجاميطي Gametangium وهو عديد النويات ، أما الجزء الذي فصل عن الكيس الجاميطي بالجدار العرضي فيسمى المعلق Suspensor .

يذوب الجدار الفاصل بين الكيسين الجاميطيين Gametangia ويمتزج البروتوبلاستان من الكيسين ثم تتحد كل نواه من كيس جاميطي مع نواه من الكيس الجاميطي الآخر ، ويتكون بذلك زيجوت عديد النويات وتكون كل نواة ثنائية الأساس الكروموسومي Diploid يكبر الزيجوت ويحاط بجدار سميك ويتكون نتيجة لذلك جرثومة زيجية Zygospor . وعندما تتوفر الظروف المناسبة تنبت الجرثومة الزيجية لتكون الثالوس مرة ثانية والذي يتكاثر بالجراثيم اللاجنسية (الأسبورانجية) ليعيد دورة الحياة . وأول انقسام عند الانبات يحدث انقسام اختزالي ليتكون ثالوس أحادي الأساس الكروموسومي .

Higher fungi

ثانياً : الفطريات الراقية

تختلف الفطريات الأولية (الطحلبية) على اختلاف أنواعها عن الفطريات الراقية (الأسكية والبازيدية) على اختلاف أنواعها بصفتين أساسيتين وهما :

(١) الجراثيم اللاجنسية للفطريات الطحلبية تتكون دائما داخلها في تركيبات تشبه الأكياس مثل أكياس الجراثيم الحيوانية السابقة Zoosporangium في الفطريات الطحلبية المائية Aquatic Phycomycetes أو أكياس الجراثيم الأسبورانجية Sporangium والتي تحتوى على الجراثيم الأسبورانجية غير المتحركة في الفطريات الطحلبية الأرضية Terrestrial Phycomycetes.

بينما الفطريات الأخرى تتكون فيها الجراثيم اللاجنسية خارجيا على أطراف هيفات خاصة (الحوامل الكونيدية Conidiospore) وتسمى في هذه الحالة الجراثيم الكونيدية Conidiospores (الكونيديا Conidia) كما في شكل (٧-٥) .

(٢) يكون الميسليوم غير مقسم Nonseptate بجدر عرضية في الفطريات الطحلبية الا في أجزاء تكون تركيبات خاصة مثل الكيس الجاميطى Gamitangium والكيس الاسبورانجى Sporangium حيث يتكون جدار عرضى لفصل هذه الأعضاء الخاصة عن باقى الثالوس . أما فى باقى الفطريات فان الميسليوم يكون عادة مقسما بجدر عرضية واضحة على مسافات منتظمة على طول الهيفات .

وحيث أن الفطريات الطحلبية لا تحتوى على جدر عرضية فمن الواضح أنها تكون متعددة الأنوية Coenocytic . وقد يبدو للقارئ أن وجود الجدر العرضية في الفطريات الراقية (الأسكية والبازيدية والناقصة) انما يعنى أن هذه الفطريات ذات خلايا وحيدة النواه وليس ذلك صحيحا ، فجميع الفطريات (فيما عدا الخمائر) متعددة الانوية Coenocytic . فالجدر العرضية في الفطريات الأسكية تكون مثقبة بثقوب تسمح بحركة السيتوبلازم والأنوية من خلية الى خلية . أما الجدر العرضية في الفطريات البازيدية فتكون عادة غير كاملة أو مثقبة وتسمح أيضا بحركة السيتوبلازم والأنوية بين الخلايا بحرية كاملة . لذلك ففى جميع الفطريات (ماعدا الخمائر) يكون السيتوبلازم متصلا بين الخلايا حتى وان وجدت الجدر العرضية فى بعضها .

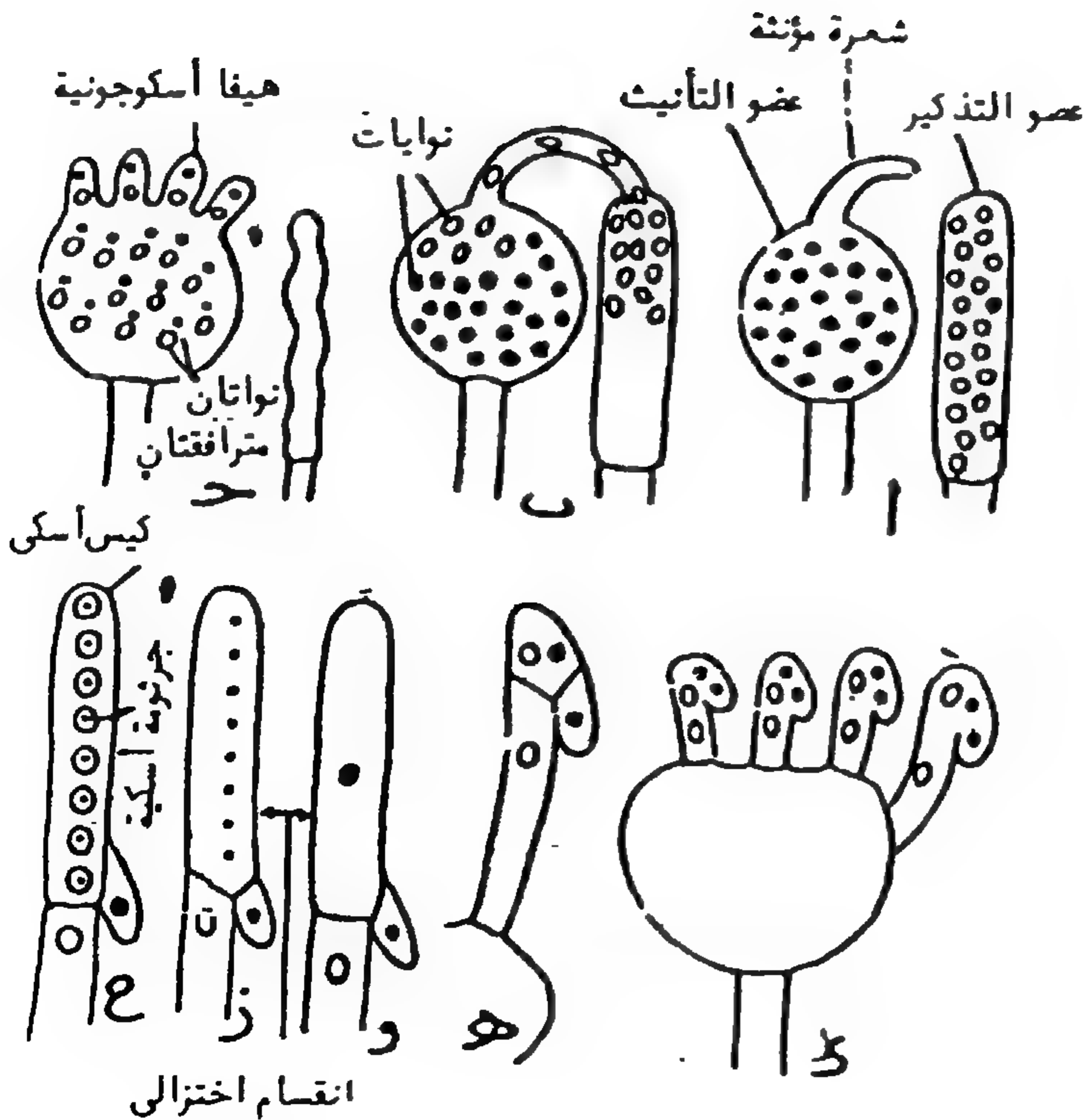
تختلف الفطريات الأسكية اختلافا كبيرا في الشكل والحجم والتركيب ، فمنها ما هو وحيد الخلية مثل الخمائر ومنها ما يكون ميسليوم متعدد الخلايا وان كانت الجدر العرضية بين الخلايا مثقبة وتسمح بحركة السيتوبلازم والأنوية بين الخلايا ليصبح الميسليوم عديد الأنوية . وتنتشر الفطريات الأسكية في الطبيعة انتشارا كبيرا ، ومعظمها يعيش معيشة حرة في التربة أو يهاجم النباتات والأغذية مسببا تلفيات كثيرة .

تتكاثر الفطريات الأسكية لا جنسيا بالجراثيم الكونيدية — كما سبق الإشارة الى ذلك — وتتكاثر جنسيا بتكوين جراثيم أسكية Ascospores داخل أكياس جرثومية تسمى الأكياس الأسكية Asc1 . ويحدث التزاوج الجنسي بعدة طرق أهمها أن يتم التزاوج بين أعضاء جنسية متميزة . وهما عضو التأنيث Ascogonium المتكون من انتفاخ كروى الشكل عادة ذو نهاية خيطية تعرف بالشعرة المؤنثة وعضو التذكير Antheridium والمكون من خلية طرفية اسطوانية الشكل . وعضوا التذكير والتأنيث عديدا النوايا عندما تلامس الشعرة المؤنثة عضو التذكير يذوب الجدار الفاصل في منطقة التلامس وتنتقل نويات عضو التذكير خلال الشعرة المؤنثة الى عضو التأنيث — تترافق النوايا في أزواج بحيث يتكون الزوج من نواة من عضو التذكير وأخرى من عضو التأنيث . تبرز من قمة عضو التأنيث هيفات تصبح خطافية الشكل محدودة النمو أحيانا وتسمى بالهيفات الأسكوجونية Ascogenous hyphae ينتقل الى كل منها نواتين مترافقتين تنقسم كل منها انقساما غير مباشر وتتكون أربع نويات . واذا تبقى أنوية في عضو التأنيث فانها تتحلل عادة ، يتكون جدار يفصل عضو التأنيث عن الهيفا الأسكوجونية . ثم يتكون جداران داخل كل هيفا أسكوجونية فيتكون ثلاث خلايا . الطرفية تحتوى على نواه واحدة ، والوسطية وتقع عند انحناء الهيفا وتحتوى على نواتين — احدهما ناتجة عن انقسام نواة مذكرة ، والاخرى ناتجة عن انقسام نسواه مؤنثة ، والخلية القاعدية تحتوى على نواة واحدة . تندمج نواتا الخلية الوسطية للهيفا الأسكوجونية وتتكون نواة واحدة ثنائية الأساس

شكل ٧-٥ : الحامل الكونيدى لفطر
اسبرجيلس *Aspergillus* ويحمل
سلاسل من الجراثيم الكونيدية التى
تتكون خارجيا وبدون أكياس.



شكل ٧-٦ : خطوات تكوين الأكياس
الأسكية فى الفطريات الأسكية .



الكروموسومى ثم تنقسم تلك النواة انقساما اختزاليا ثم انقساما غير مباشر لتنتج ثمان نوايات تحيط كل منها نفسها بجزء من السيتوبلازم ثم تفسرز حول نفسها جدار متحولة الى جرثومة أسكية Ascospore . وفى هذه الأثناء تكبر الخلية الوسطى المحتوية على ثمانى جراثيم أسكية وتصبح كىسا أسكيا Ascus (شكل ٧-٦) .

قد تكون الأكياس الأسكية عارية كما فى الخميرة ، ولكنها غالباً ما تتكون داخل أو على أجسام ثمرية أسكية Ascocarps ، ويوجد منها ثلاثة أنواع كالآتى :

١- أجسام ثمرية كمثرية مغلقة Cleistothecia وهى عادة كروية الشكل ليس لها فتحة ، وتوجد بها الأكياس الأسكية . تنتشر الأكياس الأسكية والجراثيم بتحلل جدار الجسم الثمرى أو بتمزقه . وتشاهد الأجسام الثمرية المغلقة فى الفطريات ايروشم وتالارومييسيز Eurotium and Talaromyces .

٢- أجسام ثمرية كمثرية Perithecia وهى عادة كروية السى كمثرية الى قارورية ولها عنق يسمى فوهة Ostiole . وهى تنفتح عند النضج بفتحة . توجد الأكياس الأسكية مرتبة بانتظام ومتوازية . وتشاهد الأجسام الثمرية الكمثرية فى الفطر كيتوميم Chaetomium .

٣- أجسام ثمرية مكشوفة Apothecia ، وهى أجسام ثمرية قد تكون قرصية أو قمعية أو كأسية أو ذات قلنسوة . وتحمل الأكياس الأسكية مرتبة ومتوازنة على سطحها عادة كما الفطريات بيزيزا ومورشيللا Peziza and Morchella .

Basidiomycetuous fungi

٢- الفطريات البازيدية

تختلف الفطريات البازيدية أيضا اختلافا كبيرا فى الشكل والحجم والتركيب ، فمنها ما هو وحيد الخلية مثل الخمائر التابعة للفطريات البازيدية ومنها ما يكون ميسليوم عديد الأنوية . وتسبب الفطريات البازيدية أمراضا هامة للنباتات منها أمراض الأصداء والتفحمات ، والكثير

منها يعيش مترمما في التربة وقد تسبب تحلل للمواد العضوية وتعفنا
للأخشاب.

ومن الفطريات البازيدية فطريات عيش الغراب التي تستعمل
كغذاء في كثير من البلدان . كما أن بعض فطريات عيش الغراب على
درجة عالية من السمية .

ميسليوم هذه الفطريات مقسم بجدر عرضية غير كاملة أو مثقبة من
منتصفها وقد تتضخم الجدر العرضية في الأجزاء المحيطة بالثقوب .

تكاثر هذه الفطريات لاجنسيا بتكوين جراثيم كونيدية
Conidiospore كما في بعض فطريات التفحم Smuts أو بتكوين جراثيم
يوريدية Uridiospores كما في فطريات الأصداء Rusts .

يحدث التكاثر الجنسي بطرق مختلفة . فقد يحدث بتزاوج
هيفتين خضريتين من ثالوسين مختلفين كما في فطر عيش الغراب أو بعملية
تلقيح Spermatization كما في غالبية فطريات الأصداء . وينتهي التكاثر
الجنسي بتكوين حوامل بازيدية Basidia (ومفردها Basidium)
تتكون عليها خارجيا جراثيم بازيدية Basidiospores . وقد تكون
الحوامل البازيدية عارية أو قد تكون محمولة على أجسام ثمرية خارجيا
كما في عيش الغراب Mushroom أو داخلها كما في نجمة الأرض
Geastrum يحمل الحامل البازيدي أربع جراثيم بازيدية على أطراف
مدببة عادة تسمى Strigma . يتكون عند أسفل كل الجراثيم البازيدية
قطيرة سائل صغيرة ذات دور كبير في إطلاق الجراثيم البازيدية بعيدا
عن الحامل بعد تمام نضجها . وقد يكون الحامل البازيدي مقسم بجدر
عرضية ويحمل الجراثيم جانبيا كما في فطر باكسينيا Puccinia graminis
وقد يكون غير مقسم ويحمل الجراثيم طرفيا كما في فطر عيش الغراب Mushroom

من ذلك يتضح أن الفطريات الراقية (الأسكية والبازيدية) لهما
ميسليوم مقسم Septate بجدر عرضية وكلاهما أيضا يتكاثر لاجنسيا
بتكوين جراثيم لاجنسية خارجيا . كما أن التكاثر الجنسي فيها على درجة

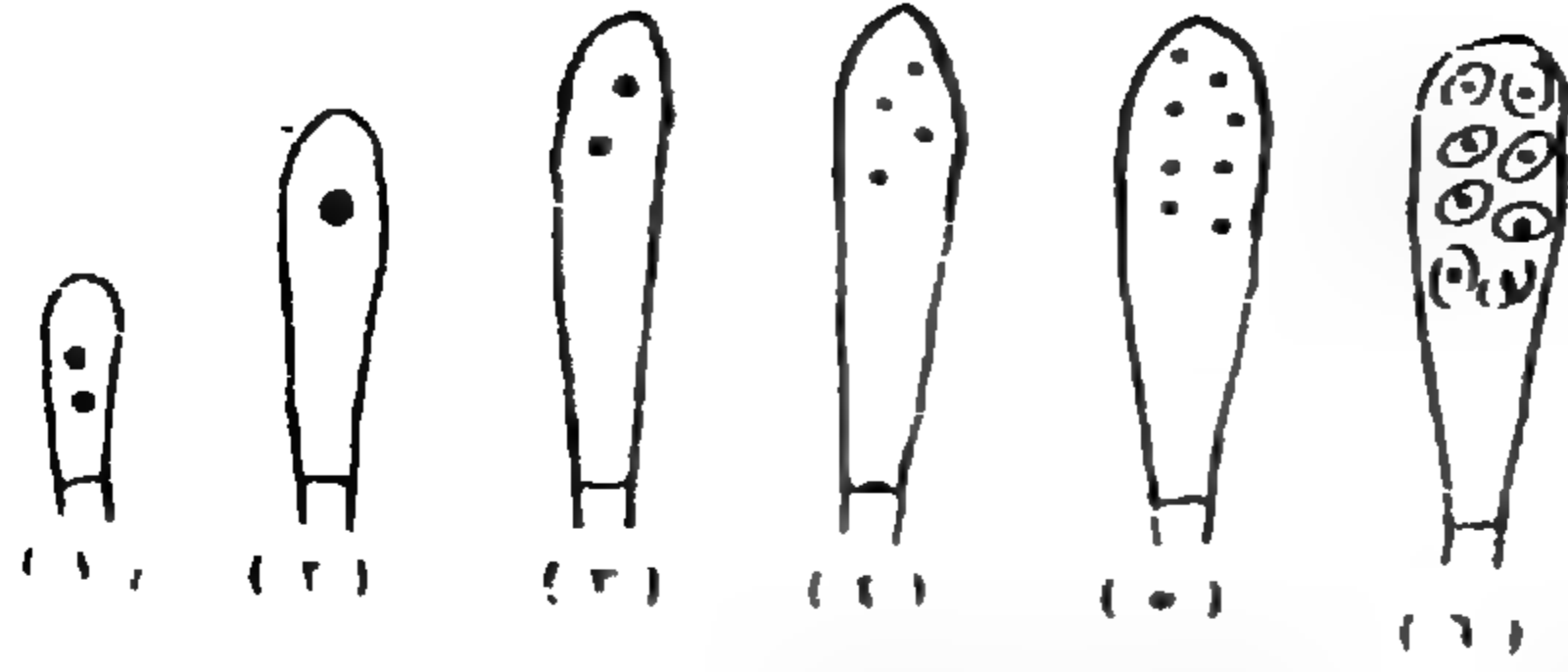
عالية من التشابه . والشكل (٧-٧) يوضح مدى التشابه في التكاثـر
الجنسى بين الفطريات الأسكية والبازيدية . فبعد تكون الزيجوت ygote
في هذه الفطريات يحدث انقسام اختزالي يتبعه تكوين أربعة الى ثمانية
جراثيم جنسية أحادية الأساس الكروموسومى Haploid التى تتكون
على الحامل البازيدى أو فى الكيس الأسكى .

وتكوين الكيس الأسكى Ascus هو صفة تتميز بها الفطريات الأسكية
دون غيرها ، بينما تكوين الحامل البازيدى Basidium هو صفة تتميز
بها الفطريات البازيدية فقط . يتكون الكيس الأسكى فى الفطريات الأسكية
من الجدار الخلوى للزيجوت حيث تنقسم النواة انقساما اختزاليا يتبعه
انقسام غير مباشر Mitotic division واحد أو اثنين أو أكثر وتحاط
كل نواة بكتلة من السيتوبلازم وتصبح جرثومة أسكية بعد تغليفها بالجدار
الخلوى . وتنطلق هذه الجراثيم الأسكية عند انفجار الكيس الأسكى .

أما فى الفطريات البازيدية فان الزيجوت يتضخم وتنقسم النواة
انقساما اختزاليا يتبعه انقسام غير مباشر Mitotic division لتكوين
أربع أنوية أحادية الأساس الكروموسومى Haploid . والأحداث التى
تلى ذلك تختلف عما يحدث فى الفطريات الأسكية . فالنويات الأربع
تحيط نفسها بكتلة سيتوبلازمية ولكن لا تتكون جراثيم داخل الحامل
البازيدى ، بل يتكون على سطح الحامل البازيدى أربع أطراف مدببة
تسمى Sterigma تهاجر اليها الأنوية فتتضخم ثم يتكون جدار عرضى عند
قاعدة كل تضخم ، وبذلك تتكون ٤ خلايا منفصلة عن الحامل البازيدى
وهى الجراثيم البازيدية ، ويتكون عند قاعدة كل جرثومة بازيدية نقطة
سائل حجمها يساوى حجم الجرثومة البازيدية . وهذه النقطة
تلعب دورا كبيرا فى إطلاق الجراثيم البازيدية فى الهواء .

٣- الفطريات الناقصة Imperfect fungi

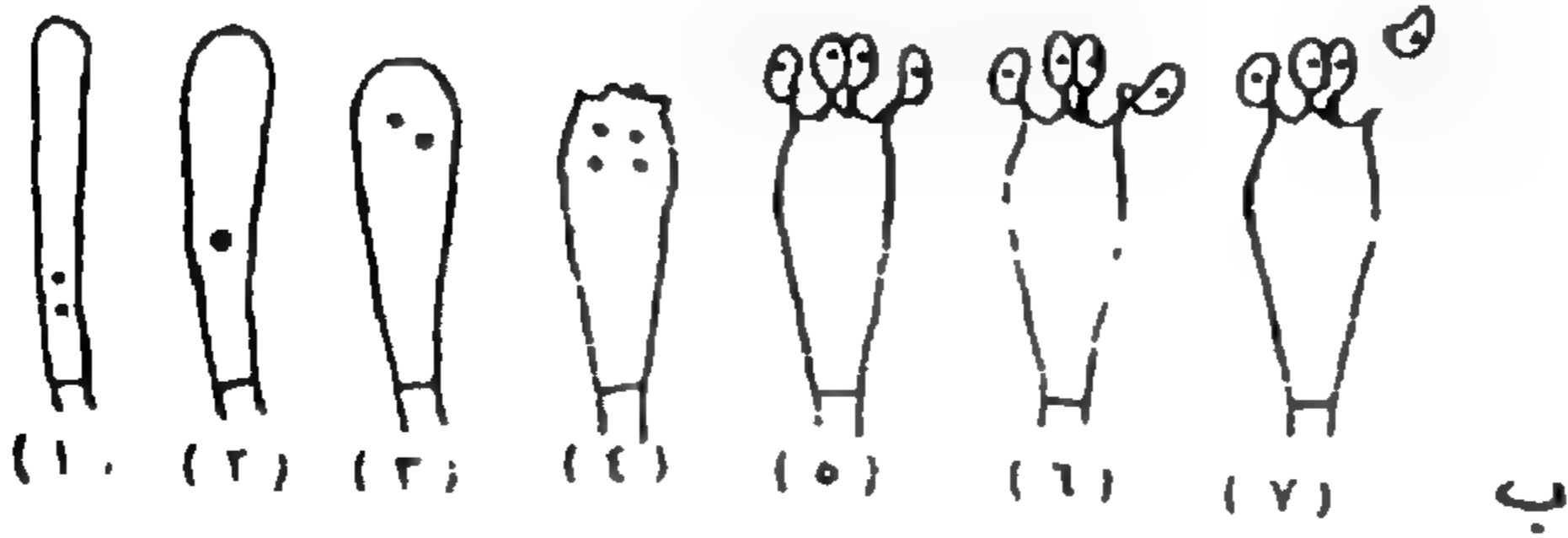
ان تقسيم الفطريات الراقية Higher fungi الى فطريات
أسكية وبازيدية له عيب واحد . هذا العيب ينحصر فى ضرورة مشاهدة



شكل ٧-٧ : التكاثر الجنسي في:

أ - الفطريات الأسكية .

ب - الفطريات البازيدية .



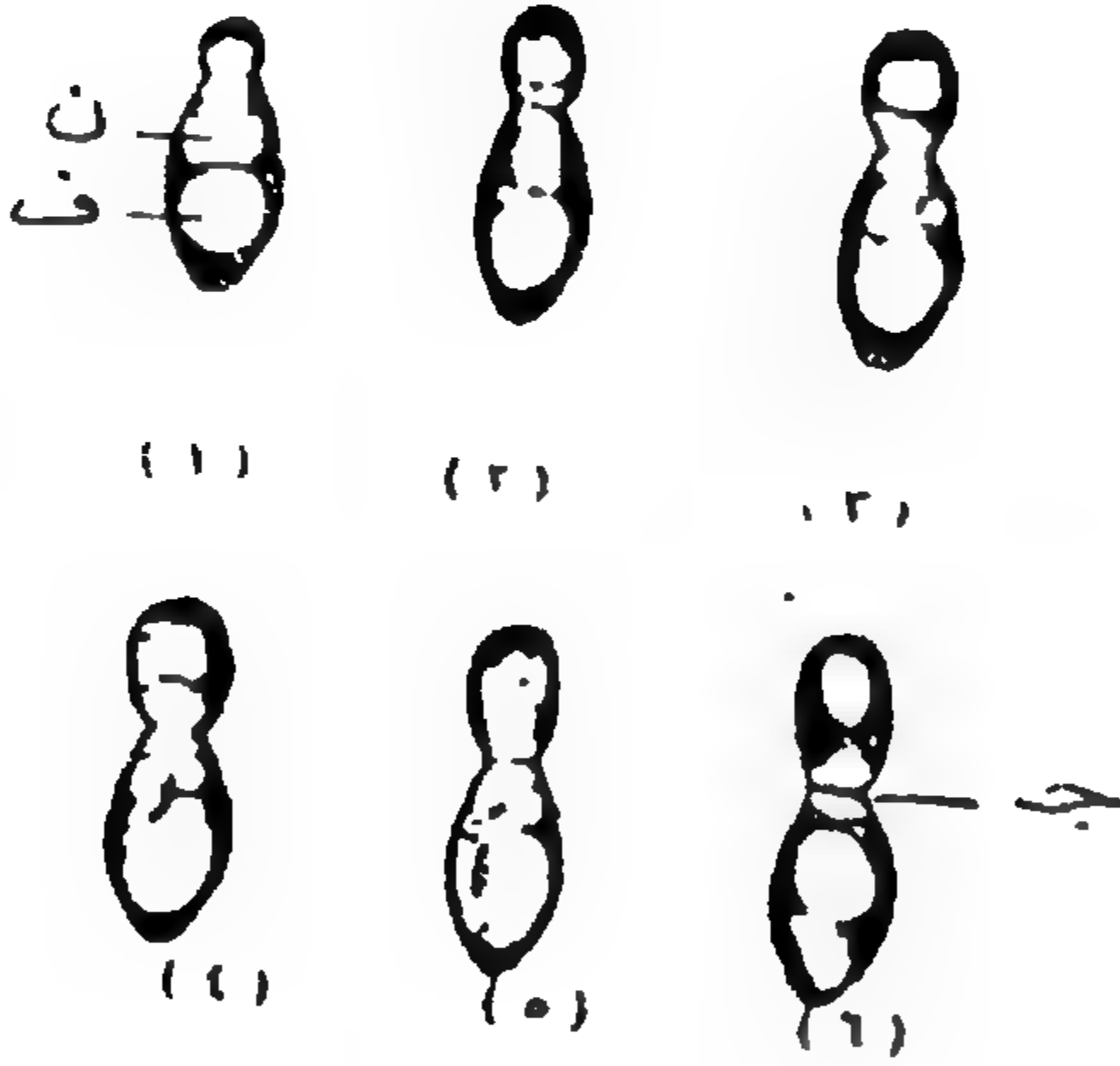
شكل ٧-٨ : سلسلة من صور بالمجهر

الالكترونى توضح تطور تكوين البراعم

في احدى الخمائر (ويكرهاميا Wickerhamia)

(ن) نواة - (ف) فجوة (ج -)

جدار عرضى .

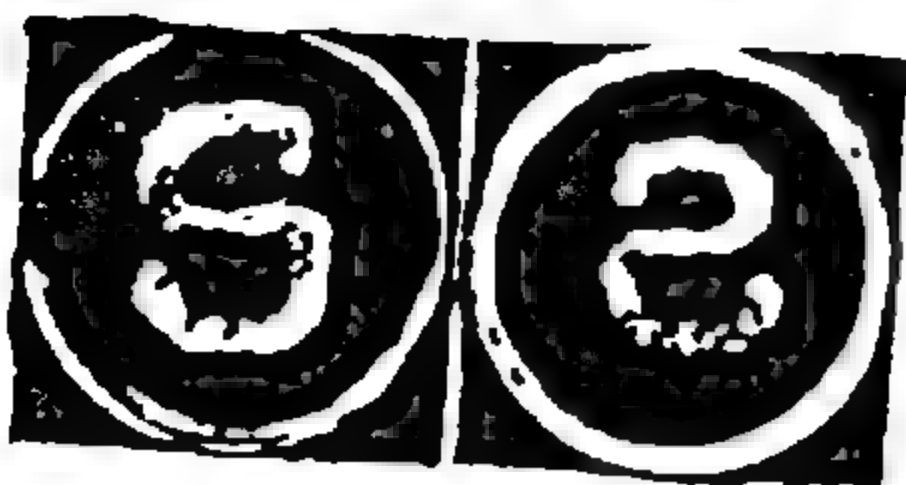


شكل ٧-٩ : تكوين صورة مرآة لمستعمرة من

خميرة سبوروبولومايسيز Sporobolomyces

نتيجة لدفع الجراثيم البازيدية من الحامل

البازيدى عند تضجها .



الجراثيم الجنسية حتى يمكن وضع فطر ما في الفطريات الأسكية أو البازيدية ، وبدون مشاهدة الجراثيم الجنسية فإنه يصبح من المستحيل وضع هذا الفطر في أى من المجموعتين السابقتين .

وحيث أن تباين الثالوس Heterothallism شائع جدا فى الفطريات الراقية فإنه كثيرا ما تعزل سلالات من الفطريات غير القادرة على تكوين جراثيم جنسية .

ومثل هذه السلالات لن يمكنها تكوين جراثيم جنسية إلا بمجرد أن تتزاوج مع الجنس الثانى (المكمل) لها ، ونتيجة لذلك وجد لدينا أعداد كبيرة من الفطريات غير القادرة على تكوين جراثيم جنسية ، لذلك تسمى هذه الفطريات بالفطريات غير الكاملة (أو التى لم يكتشف دورة حياتها الكاملة) أو الفطريات الناقصة .

وعند اكتشاف الجراثيم الجنسية لأى من هذه الفطريات فإنها تنقل من قسم الفطريات الناقصة الى المكان المناسب لها .

الخمائر Yeasts

الخمائر هى مجموعة من الفطريات الأسكية والبازيدية والناقصة ، ولو أن الفطريات تتميز بتكوين ميسليوم عديد الأنوية Coenocytic ، إلا أن الخمائر (ولو أنها فطريات) تكون عادة وحيدة الخلية Unicellular وحيدة النواة Uninucleate وتتكاثر لا جنسيا بالتبرعم Budding مختلفة بذلك فى صفاتها عن الفطريات .

والخميرة عبارة عن خلايا صغيرة بيضاوية أو كروية تتكاثر خضرياً بتكوين براعم (شكل ٧-٨) عندما يكتمل نمو هذه البراعم فإنها تنفصل عن الأم بجدار عرضى ، وقد ينفصل البرعم عن الأم مكونا خلايا فردية ، أو قد يستمر البرعم متصلا بالأم مع وجود اختناق بين الخليتين ، وعندما يتكرر تكوين الخلايا مع وجود الحزوز بينهما يتكون ما يعرف باسم

الميسليوم الكاذب *Pseudomycelium* وان كانت بعض الخمائر قادرة على تكوين ميسليوم حقيقي بدون حروز بين الخلايا .

بالرغم من أن الخمائر تشكل فرعا صغيرا من الفطريات الراقية — بالنسبة لعدد الأنواع . . فـالخمائر المعروفة حوالي ٥٠٠ نوع — من مجموع الفطريات الذي يبلغ حوالي ٨٠٠٠٠ نوع . إلا أن الخمائر تشكل مجموعة هامة من الأحياء الدقيقة . معظم الخمائر لا تعيش في التربة ولكن الخمائر تأقلمت على بيئات ذات تركيزات عالية من السكر كما في رحيق الأزهار ووسط الفواكه ، كما أن بعض الخمائر (التادرة على التخمير) استخدمها الإنسان (مثل خبيرة الخبز *Cerevisia Yeast*) لأغراض عديدة منذ قديم الزمان مثل صناعة الخبز .

الخمائر تتبع في تقسيمها — كما سبق الذكر — الفطريات الأسكية والبازيدية والناقصة ، والخمائر التي تتبع الفطريات الأسكية يصبح جدار الزيجوت هو جدار الكيس الأسكي . . بينما في الخمائر التي تتبع الفطريات البازيدية فإن جدار الزيجوت يصبح هو الحامل البازيدي .

ولاحظ أن الخلية الأم تصبح حامل بازيدي تحلل الجراثيم البازيدية وتنطلق الجراثيم البازيدية من الحوامل البازيدية بعيداثير النقطة السابقة الذكر ، فإذا وضع طبق بتري محتوي على مزرعة من الخميرة البازيدية المسماة *Sporobolomyces* مقلوبا فوق طبق آخر يحتوي على مستنبت نظيف معقم مساو له ، فإن صورة كاملة لمزرعة الخميرة تظهر على الطبق النظيف نتيجة لانطلاق الجراثيم البازيدية من الطبق العلوي الى الطبق السفلي كما في شكل (٧-١٩) .

أما الخمائر التي تتبع الفطريات الناقصة فلا يتكون فيها جراثيم جنسية كما ذكرنا سابقا . . وقد تكون الخمائر أحادية الأساس الكروموسومي Haploid معظم فترة حياتها فيتم التزاوج مباشرة قبل تكوين الزيجوت ثم يحدث الانقسام الاختزالي لتكوين الجراثيم الأسكية ، وقد تكون الخمائر ثنائية الأساس الكروموسومي فلا يحدث تزاوج قبل تكوين الزيجوت ، ويؤدي الانقسام الاختزالي لنواة الخلية الأم الى تكوين جراثيم أحادية

الأساس الكروموسومى Haploid تندمج مع خلية أخرى فور الانبثاث لتكوين Thallus ثنائى الأساس الكروموسومى .

ورغم أن التبرعم هو الوسيلة الرئيسية للتكاثر اللاجنسى فى الخمائر إلا أن بعض الخمائر يتكاثر بالانقسام الثنائى Binary fission مثل البكتيريا ، وقد وضعت هذه الخمائر فى جنس بمفردها وهو الجنس

Schizosaccharomyces

Slime Molds

الفطريات اللزجة

الفطريات اللزجة لا تقسم كفطريات حقيقية بالرغم من أن لها بعض صفات تشبه صفات الفطريات الحقيقية ، وتوضع الفطريات اللزجة فى قسم

Myxomycetes

تعيش معظم الفطريات اللزجة فى الأماكن الرطبة الظليلة على الأخشاب المتحللة والأوراق المتساقطة .

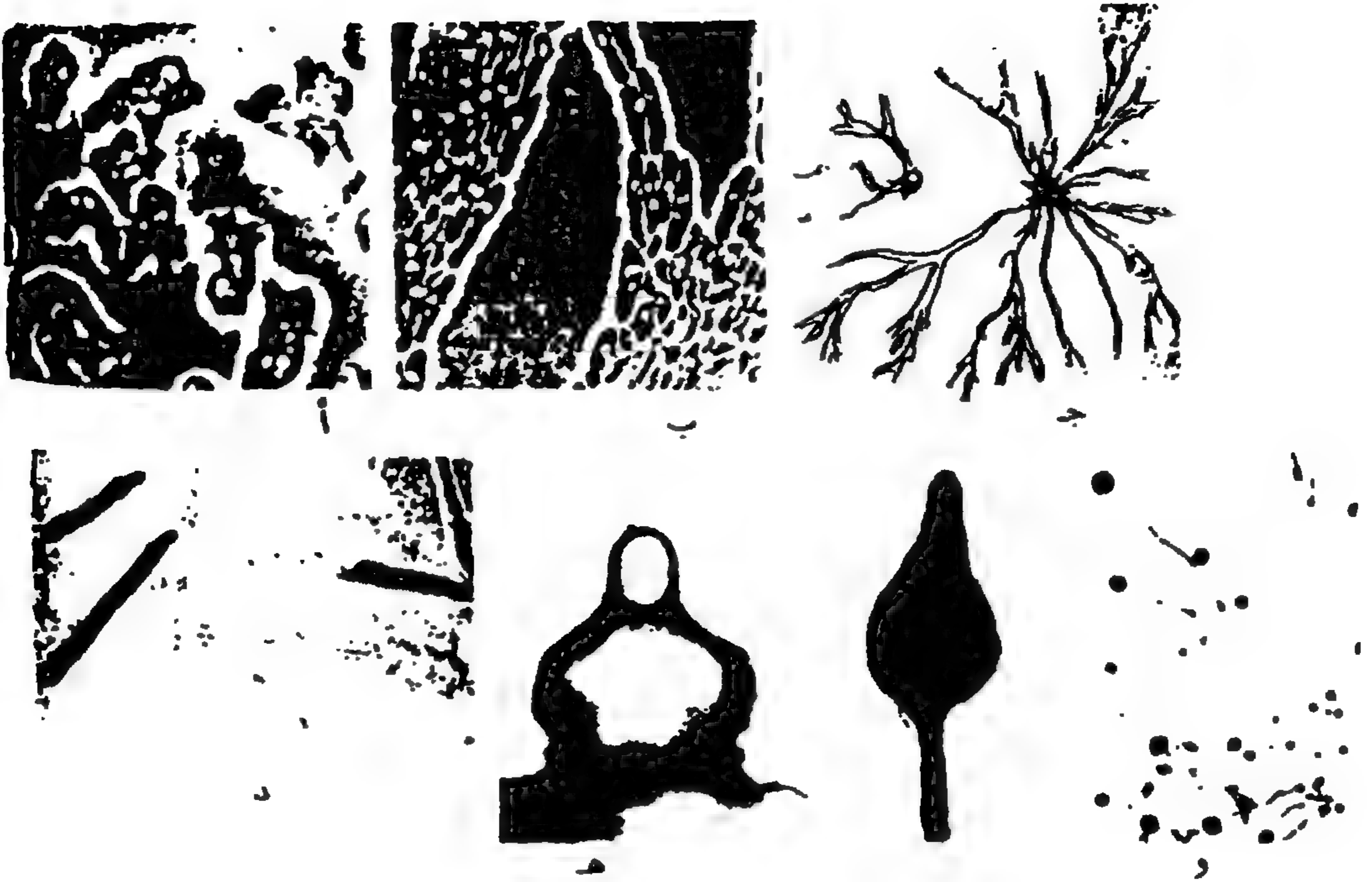
وتتميز هذه الفطريات بتكوين جسم خضرى يعرف بالبلازموديوم Plasmodium وليس ميسليوم كما فى الفطريات الحقيقية) . والبلازموديوم عبارة عن كتلة بروتوبلازمية عارية لا تحاط بجدار خلوى ولكن تحاط بغشاء بلازمى رقيق تتحرك بالأقدام الكاذبة مثله فى ذلك مثل الأميبا ، ويبتلع فى طريقة ما يقابله من الكائنات الصغيرة كالبكتيريا أو البقايا النباتية المتحللة . كما يتغذى البلازموديم أيضا بالامتصاص من جميع أسطحه . وهذا الجزء من دورة حياة الفطريات اللزجة يشبه البروتوزوا مع اختلاف جوهري عام ، أن البروتوزوا وحيدة النواة عادة ، ولكن البلازموديوم متعدد الأنوية .

يستمر البلازموديوم فى النمو الخضرى على المواد المتحللة طالما بقيت الظروف البيئية مناسبة للنمو الخضرى ويكون ذلك مصحوبا بانقسام النواة انقسامات عديدة . . وقد تصل هذه الكتلة البروتوبلازمية الى عدة مئات من الجرامات ومحتوية على عدة آلاف من الأنوية .

ولكن اذا تعرض البلازمود يوم لظروف الجفاف النسبي في البيئة المحيطة به فانه يكون أجساما ثمرية ذات اشكال محددة تميز الأجناس والأنواع المختلفة ، وتتكون هذه الأجسام الثمرية بتحول جزئ من البلازمود يوم الى خلايا وحيدة النواة وذات جدر خلوية ترتفع عن سطح البلازمود يوم ، ثم تنمو الى أعلى مكونة الأجسام الثمرية من خلايا وحيدة النواة وذات جدر خلوية .

وتحمل هذه الأجسام جراثيم وحيدة النواة أيضا . وبعد تحررها من الأجسام الثمرية ، وعند توفر الظروف المناسبة تنبت الجراثيم مكونة جاميطات Gametes أميبية يتحرك كل منها بسوط واحد . تتحد هذه الجاميطات الأميبية في أزواج لتكوين زيجوتات مزدوجة الأسواط . وبعد فترة من الوقت يفقد الزيجوت الأسواط ويكون بلازمود يوم جديد ذو أنوية ثنائية الأساس الكروموسومي Diploid ولا يحدث الانقسام الاختزالي الا قبل تكوين الجراثيم في الأجسام الثمرية ، وتشبه هذه الأجسام الثمرية الفطريات الحقيقية لحد بعيد . أما البلازمود يوم فهو يشبه البروتوزوا في عدم وجود الجدر الخلوية . ولا يغيب عن أذهاننا أن البلازمود يوم والميسليوم تركيبان على درجة كبيرة من الشبه ولا يختلفان الا في غياب الجدار الخلوي من البلازمود يوم. فقد سبق أن ذكرنا ان الميسليوم عبارة عن كتلة بروتوبلازمية متعددة الأنوية تتحرك بحركة سيتوبلازمية داخل نظام متفرع من الأنابيب (الجدر الخلوية) . والبلازمود يوم أيضا عبارة عن كتلة بروتوبلازمية متعددة الأنوية تتحرك بالحركة السيتوبلازمية على سطح البيئة ولا يحيط بها أى جدر خلوية . لذلك فالحركة السيتوبلازمية في الميسليوم محددة بالجدر الخلوية ، أما الحركة السيتوبلازمية في البلازمود يوم فهي حرة في أى اتجاه نتيجة عدم وجود الجدر الخلوية .

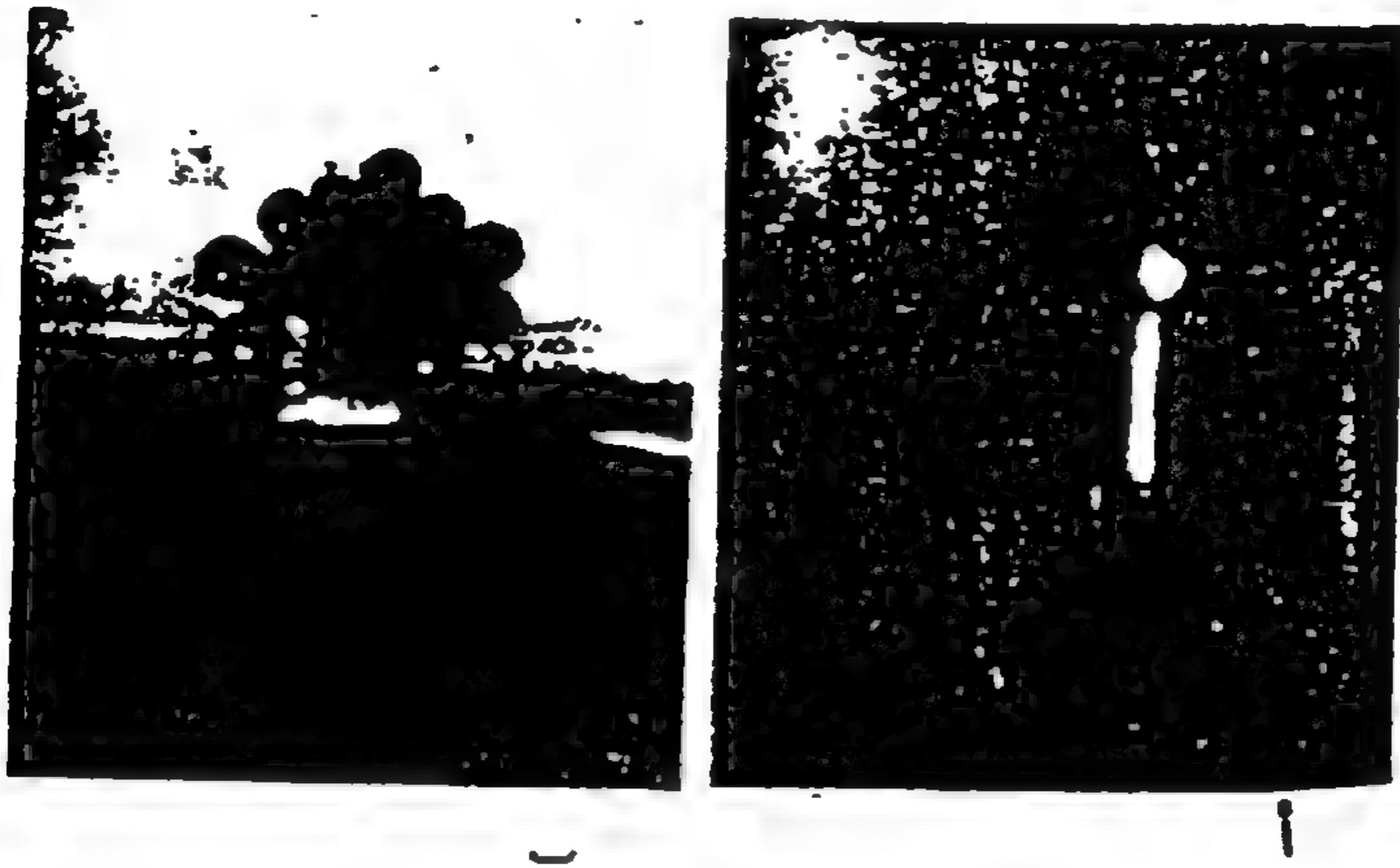
وتشمل الفطريات اللزجة مجموعة صغيرة من الكائنات تسمى الأكراسيا Acrasieae (شكل ٧-١٠) وهي تشبه البروتوزوا أكثر من الفطريات اللزجة الأخرى ، فالخلايا الخضريّة فيها عبارة عن خلايا أميبية وحيدة النواة وتنقسم بالانقسام الثنائي ، ولا يمكن تمييزها بأى طريقة عن الأميبا



شكل ٢-١٠ : صورة مجهرية للمراحل المختلفة لدورة حياة
أحد الفطريات اللزجة Dictyostelium discoideum

- أ - الشكل الأميبى غير المنتظم
- ب - الشكل الأميبى المنتظم
- ج - تكوين البلازموديم
- د - تكوين الأجسام الثمرية

في هذه المرحلة من مراحل حياتها . ولكن عند توفر الظروف المناسبة تكون الأكراسيا أجساما ثمرية مكونة من خلايا ذات جدر خلوية وحييدة النواة . كما تكون جراثيم ذات جدر خلوية وحييدة النواة ، وهذه الجراثيم تنبت عند توفر الظروف المناسبة وتفقد الجدار الخلوى وتكمل دورة الحياة في الصورة الأميبية وهذا النمط من دورة الحياة يشبه نمط دورة حياة أحد الكائنات ذات النواة البدائية والتي تسمى Myxobacteria (شكل ١١-٧) .



شكل ١١-٧ : صور فوتوغرافية للأجسام الثمرية للميكسوبكتيريا (بدائية النواة) لتوضيح الشبه بينها وبين مثيلتها في الفطريات اللزجة

أ - ميكسوكوكاس ستيبيتاتاس Myxococcus stipitatus

ب - بود انجيام أريكتم Podanqium erectum

البَابُ الثالث

الأحياء الدقيقة بدائية النواة (البكتيريا)

الفصل الثامن : الشكل الظاهري للأحياء الدقيقة بدائية النواة..

الفصل التاسع : التركيب التشريحي والوظيفي للأحياء الدقيقة

بدائية النواة ...

الفصل العاشر : تقسيم الأحياء الدقيقة بدائية النواة..



الفصل الثامن

الشكل الظاهري للأحياء الدقيقة بدائية النواة (البكتيريا)

تعتبر دراسة الشكل الظاهري للبكتيريا أحد الفروع الأساسية لعلم البكتيريا Bacteriology . وعلم البكتيريا هو العلم الذى يختص بدراسة الأحياء الدقيقة الخلوية بدائية النواة Procaryotes والمعروفة باسم البكتيريا .

ورغم أن هناك درجة محدودة من التكشف Differentiation فى القليل من ذوات النواة البدائية ، إلا أنه لا يوجد بأيمنها تلك الدرجات المتقدمة من التكشف Differentiation كالتى تتميز بها بعض البروتستا Protists مثل الطحالب المسوطة Dinoflagellates والهدبيات Ciliates .

ويجب الإشارة الى أن مجموعة واحدة من ذوات النواة البدائية (الميكسوبكتيريا Myxobacteria) تكون أجسام ثمرية متعددة الخلايا عن طريق تجمع الخلايا الخضرية ، وهى تشبه فى ذلك مجموعة الفطريات اللزجة التابعة لـ Myxomycetes . كما أن بعض البكتيريا الخضراء المزرقة Blue Green bacteria ، وبعض البكتيريا التى تكون ميسليوم (الأكتينومييسيتس Actinomycetes) تكون متعددة الأنوية Coenocytic or multinucleate وتكون تركيبات تشبه الهيفات التى تلاحظ فى الفطريات وتتكاثر بالجراثيم ولكن أيا من ذوات النواة البدائية ذات الهيفات لا تصل الى حجم أو درجة تعقيد شبيهاتها من ذوات النواة الحقيقية كالطحالب الحمراء Red alga أو الطحالب البنية Brown alga أو الفطريات البازيدية Basidiomycetous fungi . ولكن هذه الملاحظة جديدة بالتوقف ، إذ أن التركيبات الخيطية (الهيفات) فى كلا من ذوى النواة البدائية والحقيقية يدل على أن التطور فى كلا

القسمين من الكائنات الحية قد سار في خطوط متوازية .

انتشار البكتيريا

توجد البكتيريا منتشرة بكثرة في الطبيعة ، فهي توجد في الهواء ، ويقل عددها كلما ارتفعنا عن سطح الأرض ، وقد أمكن اثبات وجودها على ارتفاع سبعة كليومترات من سطح الأرض . كما توجد البكتيريا في التربة حتى على أعماق عميقة ، وإن قل عددها كلما ابتعدنا عن سطح الأرض تعمقا . وهناك تقارير تشير الى وجودها على عمق خمسة كليومترات من سطح الأرض . كما توجد البكتيريا في الماء العذب والمالح ، فقد ثبت وجودها في مياه الأنهار والبحار والمحيطات والبحيرات ، كما ثبت وجودها أيضا في ينابيع الماء الساخن Hot Springs والتي تصل حرارتها الى ٧٥°م أو أكثر . كما وجدت البكتيريا في ثلوج القطب الشمالي ، كما توجد البكتيريا في الأطعمة وعلى سطح الجلد وفي أمعاء الانسان والحيوان وعلى سطح النبات ، وفي كل مكان تقريبا .

وتعرف الكائنات الدقيقة الموجودة في أي بيئة باسم الميكروفلورا الطبيعية Natural microflora لهذه البيئة . وقد يصل عدد البكتيريا في الجرام الواحد من التربة الخصبة الى أكثر من ١٠٠ مليون ، بينما يصل عدد البكتيريا في الجرام الواحد من براز الانسان الى عدة بلايين . كما أن اللبن المحلوب تحت ظروف في غاية النظافة في أنظف مزارع الألبان قد يحتوى على ٥٠٠٠ ر ٥٠٠٠٠ بكتيريا في الملليمتر الواحد . كما توجد البكتيريا أيضا في الكثير من عينات مياه الشرب ولكن لا يجب أن يزيد عدد البكتيريا في الماء المصروح به للشرب عن ١٠٠ خلية بكتيرية في الملليمتر الواحد ، كما يجب ألا تكون هذه البكتيريا من الأنواع الممرضة أو حتى البكتيريا التي مصدرها فضلات الانسان والحيوان .

وعلى أي حال فيمكن باختصار القول أن البكتيريا توجد في كل مكان تقريبا ما عدا أماكن قليلة جدا في الطبيعة مثل دم الحيوانات السليمة الطبيعية وأنسجتها الداخلية في حالة خلوها من الأمراض ، ويستثنى

من ذلك القناه الهضمية . وكذلك لا توجد البكتيريا فى الأنسجة
الداخلية السليمة للنباتات فيما عدا حالات خاصة مثل العقد الجذرية
وحالات الميكوريزا . كما أن فوهات البراكين النشطة أيضا تكون خالية
من الأحياء الدقيقة . ولا توجد كائنات حية دقيقة أيضا فى محاليل
الأحماض والقلويات القوية وبعض الأملاح . كما ينعدم وجود الأحياء
الدقيقة أيضا فى الأواني والأدوات التى سبق تعقيمها تعقيدا جيدا
دون تعريضها لأى مصدر للتلوث بعد التعقيم .

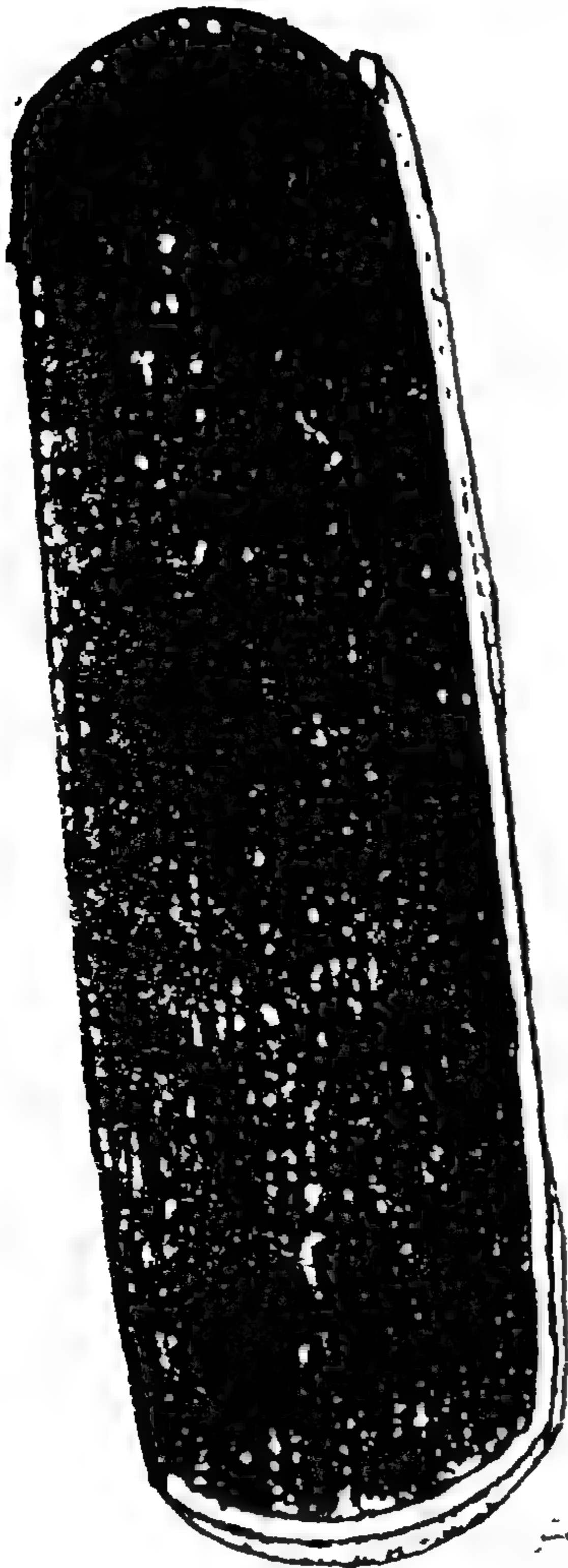
دراسة الشكل الظاهرى للبكتيريا :

Morphology of Bacteria

تتضمن دراسة الشكل الظاهرى للبكتيريا التحقق من حجم وشكل
البكتيريا وطريقة تجمع الخلايا عقب عملية الانقسام . وكذلك التأكد من
وجود أعضاء خاصة للحركة (أسواط Flagella) وكيفية توزيع هذه
الأعضاء على سطح الخلية أو وجود أى زوائد أخرى على سطح الخلية .
وكذلك دراسة صفات المستعمرات Colonies التى تكونها البكتيريا
المختلفة ، وكذلك استجابة البكتيريا للصبغات المختلفة مثل صبغة
جرام وغيرها . .

أ - حجم البكتيريا Size of Bacteria

بالرغم من أن حجم البكتيريا صغير بصفة عامة ، فإنه يوجد مدى كبير
من الحجم للبكتيريا المختلفة (شكل ٨-١) . لذلك لا يمكن اتخاذ
الحجم كوسيلة دقيقة للتمييز بين البكتيريا والكائنات الدقيقة الأخرى من
ذوات النواة الحقيقية (البروتستا Protists) حيث أن أكبر خلايا
البكتيريا تفوق فى الحجم أصغر الكائنات وحيدة الخلية من البروتستات
Protists (الكائنات ذات النواة الحقيقية Eucaryotes) ولكن -
بصفة عامة - يمكن القول أن متوسط حجم الخلايا ذات النواة البدائية



جليوكابسا : ٥ ميكرومتر
٥ Gloeocapsa, 5 μ m



أفانوثيكا ٣ ميكرومتر
٣ Anathema, 3 μ m



ثيوبديا ٢ ميكرومتر
٢ Thiodia, 2 μ m



باسيليس ٨ ميكرومتر
٨ Bacillus, 8 μ m



ستريبتوكوكس ٥ ميكرومتر
٥ Streptococcus, 5 μ m

أوسكيلاتوريا ٢٥ ميكرومتر

٢٥ Oscillatoria, 25 μ m

شكل ٨-١ : صورة مجهرية مكبرة بنفس الدرجة لبعض ذوات النواة البدائية لا يوضح الحجم المختلفة لهذه الأحياء . والمقاسات الموضحة عليها هي مقاسات عرض الخلية .

جدول (٨-١) : حجم بعض أفراد البروتستا Protists وذوات النواة البدائية والفيروسات.

حجم الوحدة بالميكرومتر المكعب		المجموعة البيولوجية	طبيعة الوحدة المقاسة
المدى العادي للحجم	المدى المتطرف للحجم		
١٠٠٠٠٠ - ٥	١٥٠٠٠ - ٥٠٠٠	طحالب وحيدة الخلية Unicellular alga	كائنات ذات نواة
١٥٠٠٠٠٠ - ٢٠	٥٠٠٠٠ - ١٠٠٠٠	بروتوزوا Protozoa	حقيقية Eucaryotes
٥٠ - ٢٠	٥٠ - ٢٠	خميرة Yeasts	
١٠٠٠٠ - ٥	٥٠ - ٥	بكتيريا مثلية للضوء Photosynthetic bacteria	كائنات ذات نواة
١٠٠٠ - ٥	٢ - ١	سبيروكيتس Spirochetes	بدائية Procaryotes
١٠٠ - ١	١ - ١	مايكوبلازما Mycoplasma	(بكتيريا)
ثابت لكل مجموعة	٥٠٠	فيروس سرطان الدم Leucovirus	فيروسات
	٥٠١	هربس Herpes	في الطيور الخارجي
	٥٠١	الانفلونزا Flue	Virions

Procaryotes أصغر كثيرا من متوسط حجم الخلايا ذات النواة الحقيقية Eucaryotes • وعلى نفس النمط فإن أصغر الخلايا ذات النواة البدائية تتماثل في الحجم مع الفيروسات Viruses الكبيرة نوعا •

لذلك فإن رؤية بعض البكتيريا مثل بعض أنواع الركتسيا Rickettsia يمثل صعوبات خاصة عند فحصها بالمجهر الضوئي •

ونظرا لأن البكتيريا تختلف في أشكالها فإن قياس الحجم هو الأفضل من قياسات أبعاد الخلايا • لذلك فالتنا نوضح في الجدول (٨-١) حجم بعض الفيروسات والتي يعرف طورها الخارجى باسم Virion (فيريون) وبعض الكائنات ذات النواة البدائية وبعض الكائنات ذات النواة الحقيقية •

وللمقارنة فإن أصغر الكائنات ذات النواة الحقيقية Eucaryotes عبارة عن طحلب يسمى ميكروموناكس Micromonas ، وهذا الكائن يحتوى على بلاستيدة Chloroplast وميتوكوندريا Mitochondrion واحدة وهذين المكونين مع نواة الخلية يشغلون حيز الخلية • لذلك فإن أى — اختصار فى حجم الخلية لابد وأن يصحبه إزالة أحد المكونات الأساسية للخلية ، لذلك فالحد الأدنى الممكن لحجم الخلية يحدده مجموع حجم المكونات الأساسية للخلية •

أما فى الخلايا ذات النواة البدائية Procaryotes فإن الحد الأدنى الممكن للخلية يحدده مجموع حجومات البروتين (الانزيمات) والدهون والكربوهيدرات والأحماض النووية (RNA + DNA) اللازمة لحمل وظائف الخلية مضافا الى ذلك الغشاء الخلوى والجدار الخلوى للخلية •

أما الحد الأدنى لحجم جسيم الفيريون Virion (وهو الطور الخارجى لجسيم الفيروس Virus) فيتحدد بمجموع حجومات كلاً من الحمض النووى الداخلى فى تركيبه + الغطاء البروتينى (المحفظة) أى أغلفة خارجية •

وعند عمل قياسات الحجم للبكتيريا فانه من الضروري ذكر تركيب
المستنبت الغذائي الذي نمت عليه البكتيريا قبل قياسها ، وكذلك ذكر
عمر المزرعة . اذ أن كثيرا من البكتيريا تختلف في شكلها وحجمها وفقا
لتركيب البيئة وعمر المزرعة . وليس هذا هو العيب الوحيد الذي يقابل
من أهمية الحجم كوسيلة للتعرف على البكتيريا ، فالكثير من المزارع النقية
للبكتيريا النامية على نفس الظروف وفي نفس المستنبت وذات العمر الواحد
تحتوى على خلايا مختلفة الأشكال والأحجام أيضا كما في مزارع البكتيريا من
نوع *Arthrobacter* .

وتؤثر النسبة بين السطح الخارجى للكائن الحى الخلوى الى حجمه
تأثيرا كبيرا على سرعة التمثيل الغذائى *Metabolism* ، فكلما كبرت
هذه النسبة كلما زاد معدل التمثيل الغذائى للكائن الحى ، والمعروف
أن هذه النسبة هى أكبر ما يمكن فى خلايا البكتيريا مقارنة بجميع
الكائنات الحية الخلوية الأخرى .

ولا يضح ذلك فأننا نسوق المثال التالى لتقريب الصورة الى ذهن
القارئ . فلو كان لدينا مكعبا حجمه ١ سم^٣ وطول ضلعه ١ سم فإن
مساحة السطح الخارجى لهذا المكعب = عدد أوجه المكعب × مساحة
الوجه الواحد . $6 = 1 \times 1 \times 6$ سم^٢
وتكون النسبة بين مساحة السطح الى الحجم $6 = \frac{6}{1}$

واذا قسم هذا المكعب الى ١٠٠٠ من المكعبات المتساوية ، وذلك
بتقسيم كل ضلع من أضلاع المكعب الى عشرة أقسام متساوية ، طول الضلع
لكل منها ١/١٠ سم تكون مساحة أسطح جميع المكعبات الصغيرة . .

عدد أوجه المكعب الواحد × مساحه الوجه الواحد × عدد المكعبات
 $6 = 1 \times 1 \times 1000$ سم^٢

وتكون النسبة بين مساحة السطح فى المكعبات الصغيرة الى الحجم

$$60 = \frac{6}{1}$$

وكلما قل طول الضلع فى المكعبات زادت النسبة بين السطح

الخارجي الى الحجم كما هو موضح في الجدول (٨-٢) .

جدول ٨-٢ : العلاقة بين حجم مكعب طول ضلعه ١ سم ومساحة السطح الخارجي له عند تجزئته الى مكعبات صغيرة :

طول ضلع المكعب سم	عدد المكعبات	مساحة سطح المكعب	الحجم	مساحة السطح الحجم
١٠	١ مكعب	٦سم ^٢	١سم ^٣	٦
١	١٠٠٠	٦٠سم ^٢	١سم ^٣	٦٠
٠.١	١٠٠٠٠	٦٠٠سم ^٢	١سم ^٣	٦٠٠
٠.٠١	٩١٠	٦٠٠٠سم ^٢	١سم ^٣	٦٠٠٠
٠.٠٠١	١٢١٠	٦٠٠٠٠سم ^٢	١سم ^٣	٦٠٠٠٠

لذلك فان معدل التمثيل الغذائي في البكتيريا أعلى بكثير عن مثيله في جميع الكائنات الحية الأخرى . والدليل على ذلك قدرة البكتيريا المخمرة لسكر اللاكتوز على هدم كميات من هذا السكر تصل الى عدة آلاف المرات قدر وزنها في خلال ساعة واحدة من الزمن ، واذا قدرنا الوقت الذي يكفي لكي يستهلك الانسان كمية من السكر تقدر بألف مرة قدر وزنه لاحتياج الى فترة تصل الى حوالي ربع مليون ساعة أو بمعنى آخر لاحتياج الى مدة تزيد عن متوسط عمره . ومن ذلك يتضح الدور الهام لهذه الكائنات الدقيقة في تحليل المواد العضوية الميتة والناجمة عن فضلات الانسان والحيوان لاعادة العناصر الداخلة في تركيبها الى الطبيعة مرة ثانية . وذلك حتى يمكن للحياة أن تستمر عن طريق استمرار دورة العناصر المختلفة .

ونظرا لأن البكتيريا صغيرة جدا فاننا نستخدم لقياساتها وحدات قياسية طولية خاصة تسمى الميكروميتر Micrometer ويرمز له بالرمز μ للروهي تساوي $\frac{1}{1000}$ من المليمتر (أنظر الجدول ٨-١). ويمكن قياس حجم البكتيريا بعد قياس قطرها أو أبعادها . وتختلف الخلية المصبوغة في الحجم عن الخلية الحية نظرا لأن عمليات التثبيت والتخفيف التي تجرى على الغشاء تؤدي الى انكماش الخلية البكتيرية .

ب- شكل البكتيريا Shape of bacteria

لكل بكتيريا شكل محدد مميز يظل ثابتا الى حد كبير ، بالرغم من أن الشكل الظاهري يتأثر الى حد ما بالبيئة المحيطة . وتوجد خلايا البكتيريا اما منفردة أو تتجمع في تجمعات مختلفة كما سيلي ذكره ، ولكن يبقى كل فرد منها مستقلا في عملياته الحيوية . وتظهر الخلايا البكتيرية في شكل من الأشكال الآتية :

أولا : الشكل الكروي Coccus وجمعها Cocci

وهي البكتيريا الكروية Spheres ويتراوح قطر هذه الخلايا بين ١-٢ ميكروميتر Micrometer ، والخلايا الكروية قد تتجمع تبعا لنظام تكونها نتيجة للانقسام كما يلي :

(١) البكتيريا الكروية في سلاسل من خليتين *Diplococcus* :
arrangements وهي الخلايا التي تظل متجمعة في أزواج بعد الانقسام ومن أمثلتها البكتيريا المسببة لمرض التهاب الرئوى *Streptococcus pneumonia* والذي يطلق عليه *Pneumococcus* (شكل ٨-١٢) .

(٢) البكتيريا الكروية في سلاسل أكثر من خليتين *Streptococcus* :
arrangements وهي الخلايا التي يستمر فيها الانقسام في اتجاه واحد متعامد على طول السلسلة دون انفصال الخلايا فيتكون ما يعرف

بالشكل السبحى (شكل ٨-٢ب) ، لذلك يطلق اسم Streptococcus ومصدرها كلمة Streptos اليونانية والتي تعنى سبحة أو خيط ، وممن أمثلة هذه الكائنات Str. Lactis وكذا الميكروب Str. pyogenes والأول يستخدم بكثرة فى صناعات منتجات الألبان حيث يحول سكر اللبن (اللاكتوز) الى حمض اللاكتيك ، أما الثانى فيصيب الانسان والحيوان عن طريق الجروح ، وينمو فى الدم وقد يؤدى الى الموت اذا لم يعالج .

(٣) البكتيريا الكروية المرتبة على شكل صفائح Sheets : وهى البكتيريا التى يحدث فيها الانقسام فى اتجاهين متعامدين دون انفصال الخلايا مكونا فى النهاية صفائح Sheets (شكل ٨-٣) كما فى البكتيريا من نوع Lampropedia .

(٤) البكتيريا الكروية المرتبة فى صورة مربعات Tetrades : وهى بكتيريا تنقسم فى اتجاهين متعامدين ، وتظل كل أربعة خلايا بديقة ملتصقة ببعضها مكونة مجاميع رباعية ، وأحيانا تسمى Tetracocci أو Pediococci .

(٥) البكتيريا الكروية المرتبة فى صورة مكعبات Cubical packets : وهى بكتيريا تنقسم فى ثلاثة اتجاهات متعامدة مكونة مكعبات من ثمان خلايا ملتصقة ببعضها ، وأشهر أمثلتها أفراد الجنس Sarcina .

(٦) البكتيريا الكروية المرتبة فى أشكال عنقودية (غير منتظمة) Staphylococcus arrangement : وهى خلايا البكتيريا التى تنقسم فى اتجاهات متعددة وتظل ملتصقة ببعضها بعد الانقسام مكونة أشكالا عنقودية (تشبه عنقود العنب) ومن أمثلتها Staphylococcus aureus والمسئول عن إصابات الجلد بالدمامل وتلوث الجروح . (شكل ٨-٢ د) .

(٧) البكتيريا الكروية التى لا يميز فيها أى من الترتيبات السابقة نتيجة لانفصال الخلايا عن بعضها بعد الانقسام مباشرة .

شكل ٨-٢ : رسم تخطيطي يوضح التجمعات المختلفة للبكتيريا الكروية :



أ - تجمع Diplococcus مثل ما يحدث في

Streptococcus pneumonia

ب - تجمع سبحي مثل ما يحدث في

Streptococcus lactis

ج - تجمع في شكل مكعبات مثل ما يحدث في

Sarcinia

د - تجمع في شكل عنقودي مثل ما يحدث في

Staphylococcus aureus

هـ - البكتيريا الكروية التي لا يميز فيها أي

نوع من التجمعات السابقة نتيجة انفصال

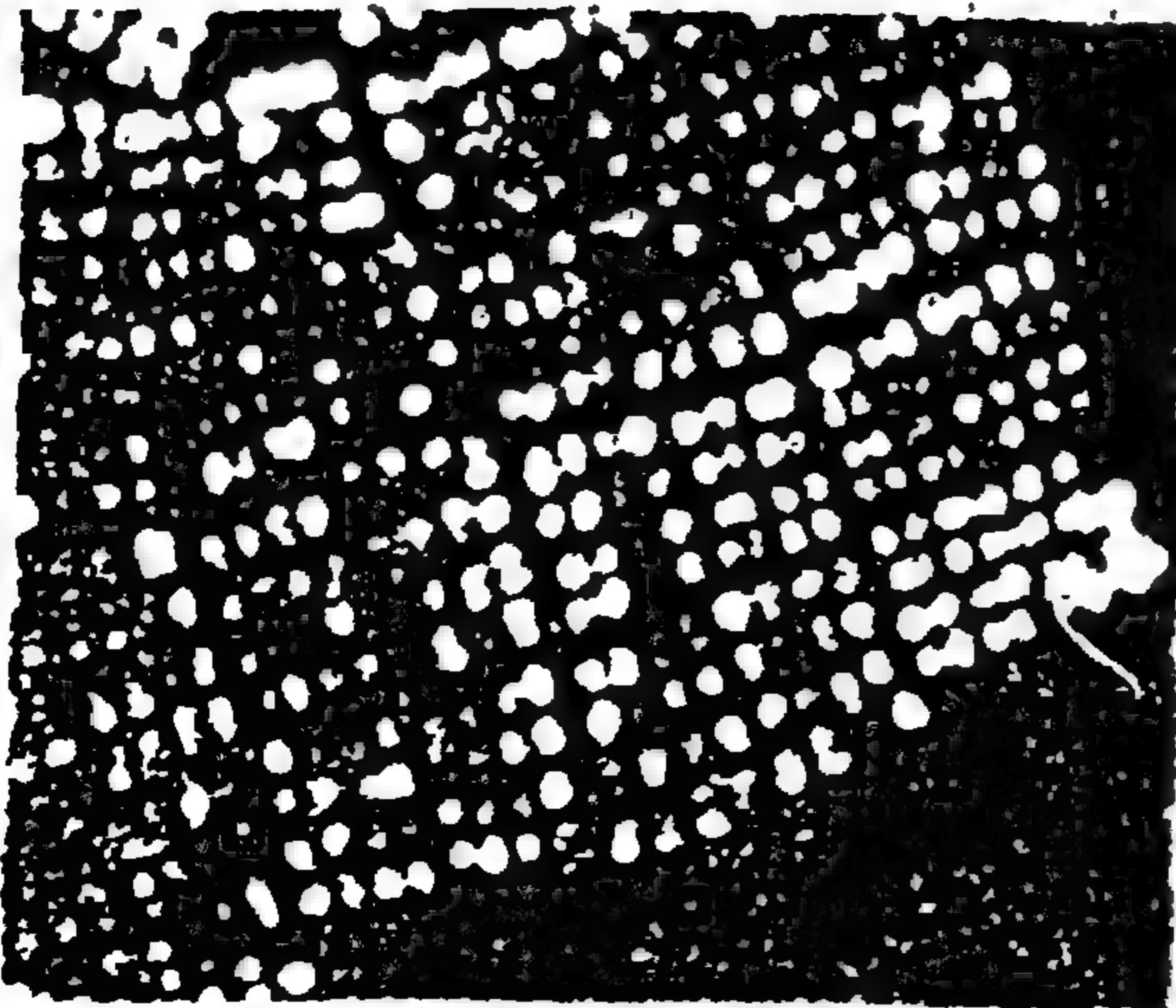
الخلايا عن بعضها بعد الانقسام مباشرة .

شكل ٨-٣ : صورة بالمجهر الالكتروني لتجمع

البكتيريا الكروية على صورة صفائح مثل

Lampropidia

يحدث في البكتيريا



والخلايا الكروية ليست دائما مستديرة استدارة كاملة ، ولكنها قد تستطيل أو تتبعج أحيانا ، وخاصة عندما تكون في أزواج أو سلاسل.

ثانيا : الشكل العصوى المستقيم *Bacillus*

وهي البكتيريا الأسطوانية Cylindrical أو العصوية Rod shaped وتكون أطرافها مستديرة أو مائلة للاستدارة أو مستقيمة ، لذلك فبعضها يظهر على شكل برميلي أو بيضاوي ، وهي إما منفردة أو في أزواج أو — سلاسل طويلة . وقد تكون سلاسل مكونة على محورها الطولي ، كما يحدث في أفراد الجنس *Bacillus* (شكل ٨-٤ أ) أو قد تكون السلاسل مكونة نتيجة لالتصاق الخلايا طولا بجانب طول على محورها العرضي ، كما يحدث في أفراد الجنس *Caryophanon* (شكل ٨-٤ ب).

كما أن تكون الجراثيم (الأبواغ) الداخلية في أفراد البكتيريا العصوية ومكان الجرثومة ، ثم انبات الجرثومة يضيف أشكالا ظاهرية أخرى ، فعندما تتعرض الخلايا الخضرية لظروف بيئية غير مناسبة ، فانها تتجرثم. وأحيانا تتكون الجرثومة Spore في وسط الخلية (وسطية) أو في طرف الخلية (طرفية) أو بين الوسط والطرف (تحت طرفية) وتختلف شكل الجراثيم المكونة ، فقد تكون دائرية أو بيضاوية . وقد تنتفخ الجراثيم المكونة في كل حالة أو تتعرض بقايا الخلايا الأصلية للجفاف مما يسبب انكماشها مع بقاء الجرثومة في حجمها الطبيعي (شكل ٨-٤ ج) .

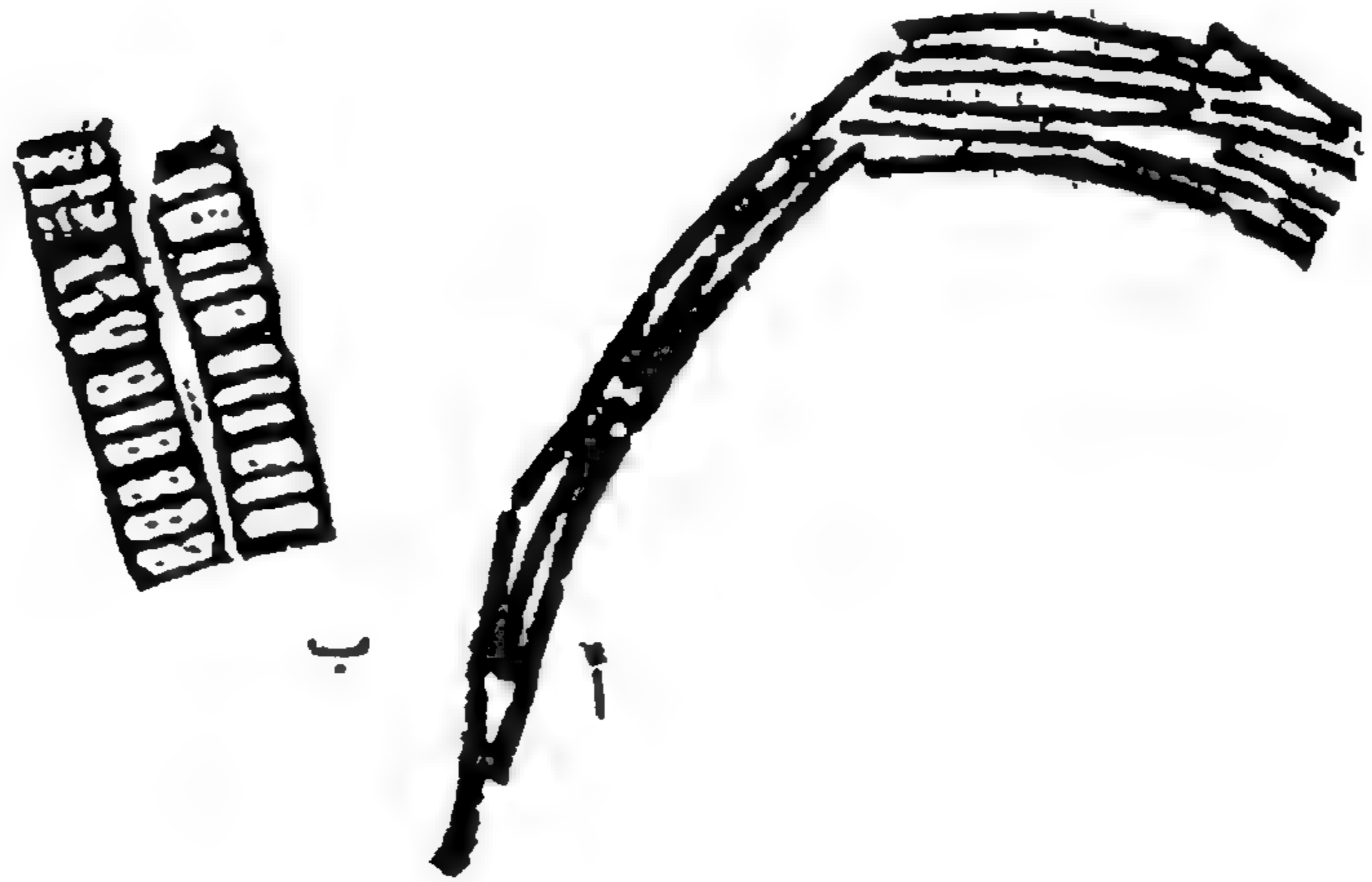
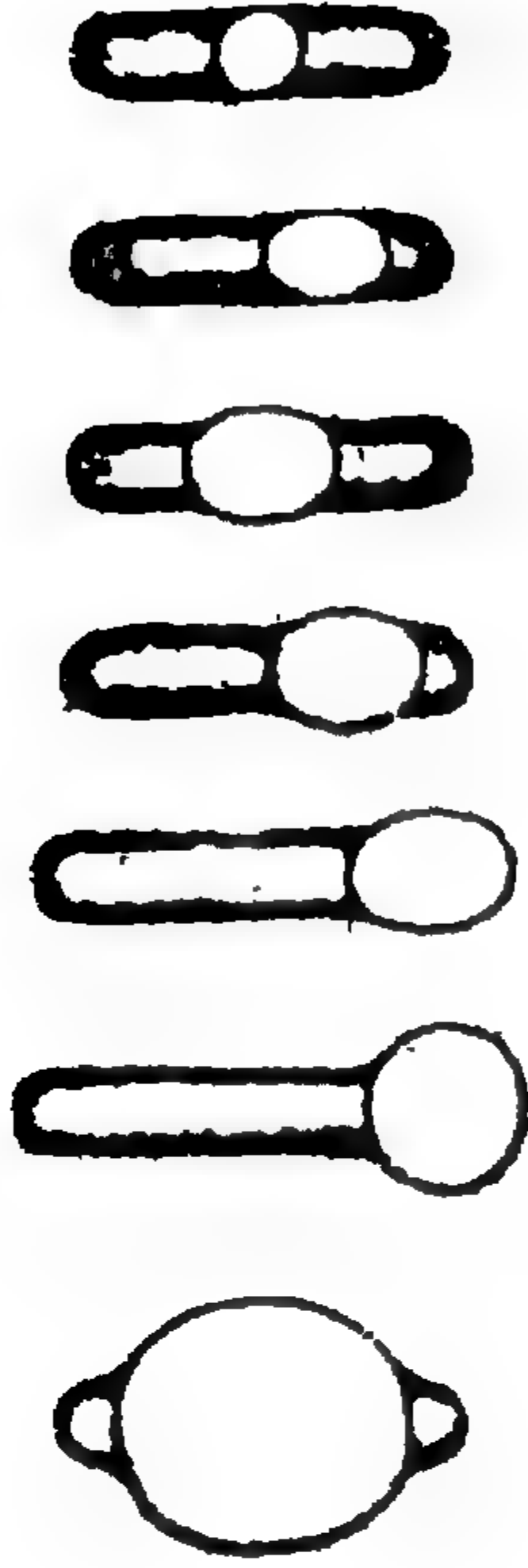
وعند انبات الجراثيم Spores تتكون خلية خضرية شبيهة بالخلية الخضرية الأصلية ، كما يشاهد في الشكل (٨-٥) . وفي حالة خاصة تتكون خلايا نصف حلقية كما في حالة *Bacillus circulans* (شكل ٨-٦) . وأهم أجناس البكتيريا العصوية المتجرثمة هي الجنس باسيلس *Bacillus* والجنس كلوستريديم *Clostridium* .

شكل ٨-٤ : البكتيريا العصوية :

أ- سلاسل متكونة على طول المحور الطولي
كما في *Bacillus*.

ب- سلاسل متكونة على طول المحور العرضي
كما في *Caryophanon*.

ج- جراثيم في أوضاع مختلفة من الخليـة
البكتيرية .



شكل ٨-٥ : صورة للمجهر الضوئي توضح انبات
الجراثيم في البكتيريا المعروفة باسم بوليمكسا
Bacillus polymyxa حيث تعطى الجرثومة
خلية خضرية تشبه الخلية الاصلية الناتجة عنها .



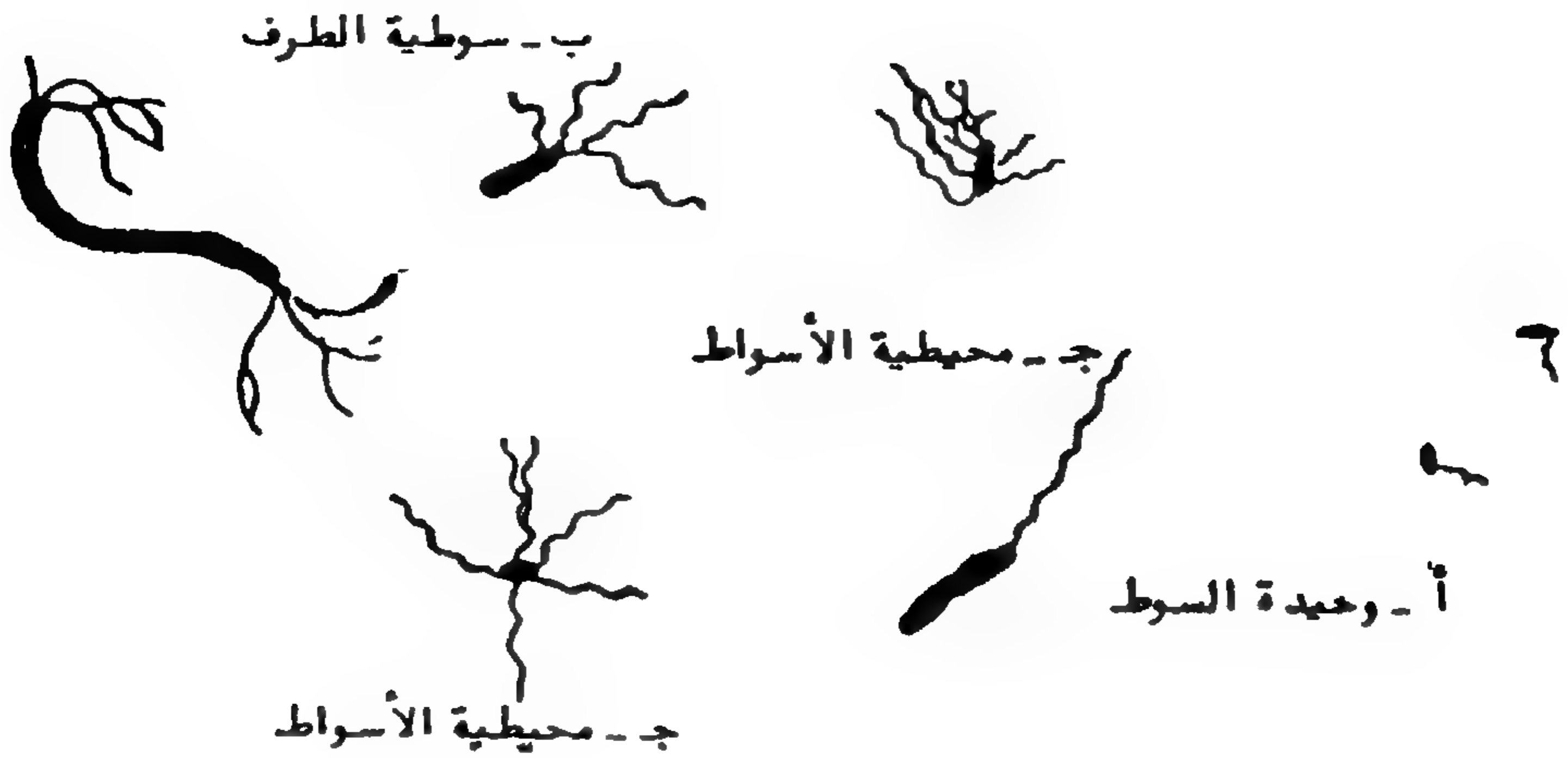
شكل ٨-٦ : الخلايا الخضرية الناتجة عن انبات
جراثيم باسم سيركيولانز *Bacillus circulans*

ويختلف طول البكتيريا العصوية ، فبعضها يكون طولها أكبر قليلا من عرضها ، فيسمى عصوي قصير كما في بكتيريا القولون المعروفة -Escherch colli وبعضها يكون طولها أكبر من عرضها بكثير ، فيسمى عصوي فقط كما في أفراد جنس Bacillus .

وتتميز البكتيريا العصوية أيضا في كل مجموعة سواء السالبة أو الموجبة لصبغة جرام على أساس وجود أو عدم وجود أعضاء للحركة والمعروفة باسم الأسواط Flagella (ومفردها سوط) Flagellum . فالبكتيريا التي تحمل سوطا طرفيا واحدا على أحد طرفيها تسمى البكتيريا وحيدة السوط Monotrichous (شكل ٨-٧) مثل بعض البكتيريا التابعة لجنس سودوموناس Pseudomonas . أما البكتيريا التي تحمل مجموعة من الأسواط Tuft of flagella على أحد طرفيها فتسمى طرفية الأسواط Lophotrichous كما في بعض البكتيريا التابعة لنفس الجنس المذكور أيضا ، وقد يكون جميع سطح الخلية ، وفي هذه الحالة تسمى بالبكتيريا محيطية الأسواط Peritrichous كما في الشكل (٨-٧) والذي يوضح الأنظمة المختلفة لتوزيع الأسواط على الخلايا .

وقد اكتشف حديثا بعض أنواع البكتيريا التي تحتوي على أنظمة مختلطة من الأسواط Flagellation كما يشاهد في الشكل (٨-٨) حيث يوجد السوط الطرفي والذي عادة ما يتميز بزيادة سمكه عن باقي الأسواط ، فالأسواط التي توجد عادة في البكتيريا طرفية الأسواط Lophotrichous والبكتيريا محيطية الأسواط Peritrichous تكون أقل سمكا من الأسواط الموجودة في البكتيريا وحيدة السوط Monotrichous .

ولا تُحصر الزوائد الموجودة على السطح الخارجي للخلية على أعضاء الحركة ، بل يوجد زوائد أخرى خاصة في بعض أنواع البكتيريا العصوية تسمى الـ Pili ومفردها Pilus . وأهم أنواع هذه الزوائد هي الزائدة الجنسية (شكل ٨-٩) Sex pili وقد تحتوي الخلية على (١-٥) زوائد جنسية ، وتعمل كقناة ينتقل خلالها المواد الوراثية من الخلية البكتيرية المذكرة الى الخلية البكتيرية المؤنثة أثناء



شكل ٨-٧ : صورة بالمجهر الضوئي لبكتيريا مختلفة
أ - البكتيريا وحيدة السوط Monotrichous تحمل سوطا واحدا في طرف
الخلية .
ب - البكتيريا طرفية الأسواط Lophotrichous
تحمل مجموعة أسواط على واحد أو كلا الطرفين للخلية .
ج - البكتيريا محيطية الأسواط Peritrichous تحمل الأسواط على
جميع سطح الخلية.



شكل ٨-٨ : صورة بالمجهر الإلكتروني
(١٦٦٠٠ مرة) توضح بكتيريا ذات
أنظمة سوطية مختلطة ، فبينما تحتوى
على سوط وحيد طرفي (المميز بزيادة
سمكه) فهي أيضا محيطية الأسواط
(الأقل سمكا) .



شكل ٨-٩ : التزاوج في البكتيريا :
 أ- صورة بالمجهر الالكتروني لتزاوج بين خلية
 مذكرة (السفلية) و خلية مؤنثة (العلوية) عن
 طريق زائدة جنسية Sex Pilus مصبوغ
 بفيروس متخصص لهذه الزوائد وتحتوى الخلية
 المذكرة على العديد من الزوائد العادية
 غير الجنسية التي لا يلتصق بها الفيروس
 ب- صورة بالمجهر الالكتروني لتزاوج بين
 خلية مذكرة و خلية مؤنثة عبر زائدة جنسية
 Sex Pilus .

ب

شكل ٨-١٠ : صورة بالمجهر الالكتروني لخلية
 في مرحلة الانقسام من نوع Hfr من بكتيريا
 القولون E. coli تظهر الزوائد على الخلية
 وهي ثلاثة أنواع :

أ- الزوائد الطولية المنحنية السمكة وهي
 الأسواط .

ب- الزوائد القصيرة الرفيعة وهي الزوائد
 العادية .

ج- الزوائد الطويلة المستقيمة المصبوغة
 بالفيروس الخاص بالزوائد الجنسية .

وهي تلك الموجودة في الجهة اليسرى
 العلوية من الخلية وهي الزوائد
 الجنسية . Sex pilus



عملية التزاوج Conjugation والتي ستشرح فيما بعد . على أن الخلية قد تحتوى على العديد من الزوائد العادية Ordinary Pili or Fimbriae (شكل ٨-١٠) وهي أقل سمكا من الزوائد الجنسية Sex Pili . وفي كثير من الأحيان قد تحتوى الخلية على النوعين من الزوائد العادية والجنسية .

ثالثا : الشكل العصوى المنحنى : Curved Rods

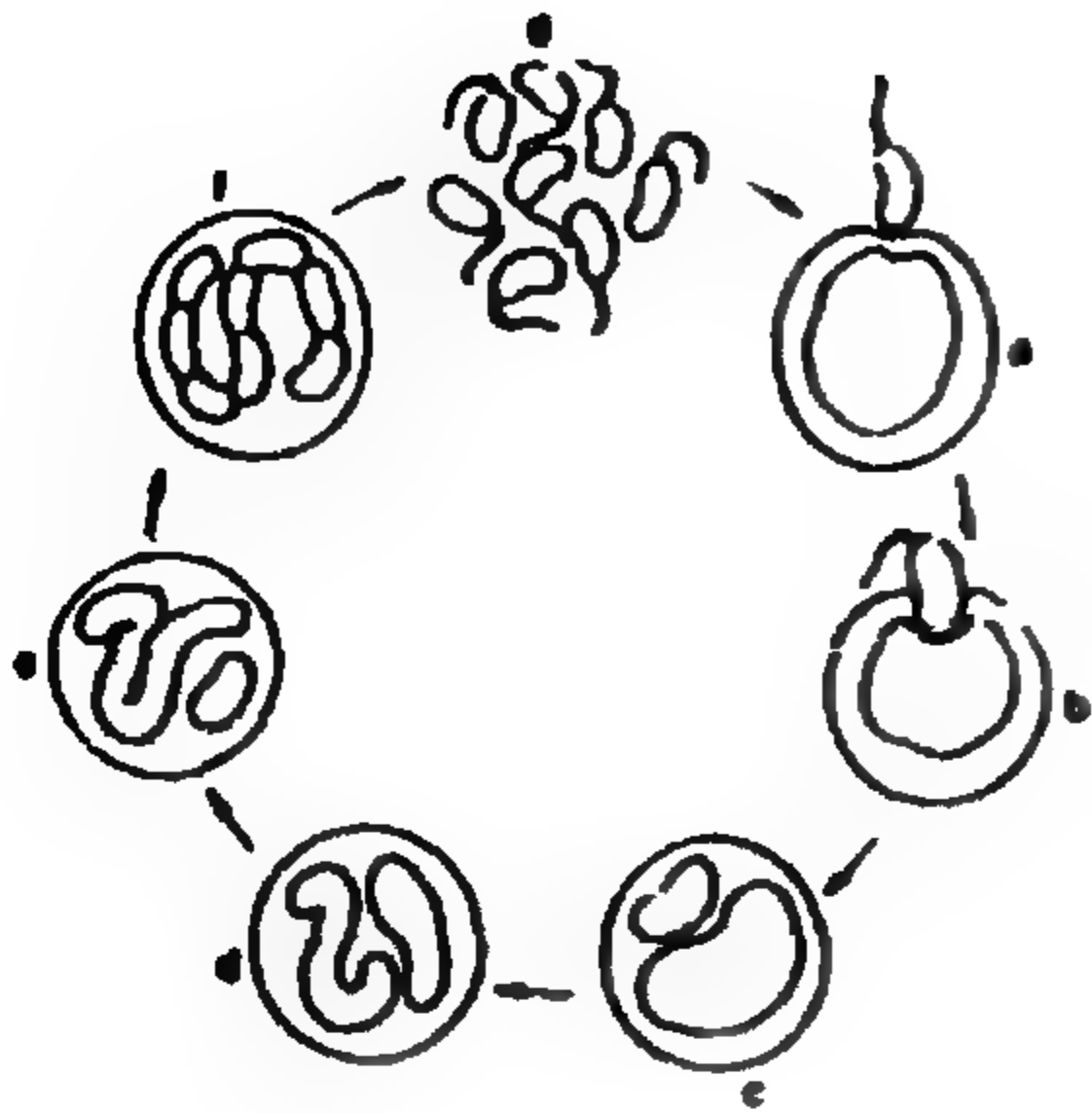
وتشمل عدة مجموعات كالآتى :

(١) خلايا هذه المجموعة من البكتيريا قد تحتوى على انحناءة واحدة Single curve فتبدو الخلية مثل حرف " و " وتعرف هذه المجموعة باسم البكتيريا الضمية Comma shaped أو Vibrios وتشمل هذه المجموعة البكتيريا المسببة لمرض الكوليرا Vibrio cholerae وكذلك البكتيريا المعروفة باسم Bdellovibrio والتي تهاجم البكتيريا الأخرى وتتكاثر بداخلها وتقضى عليها (شكل ٨-١١) وكذلك البكتيريا المعروفة باسم Caulobacter (شكل ٨-١٢ أ) والمزودة بزوائد خاصة لتثبيت نفسها بالأسطح الناعمة Hold fast يمكنها من تكوين أشكال مجهرية (ميكروسكوبية) تشبه الورد Rosettes (وريدة) على سطح الشرائح الناعمة (شكل ٨-١٢ ب) .

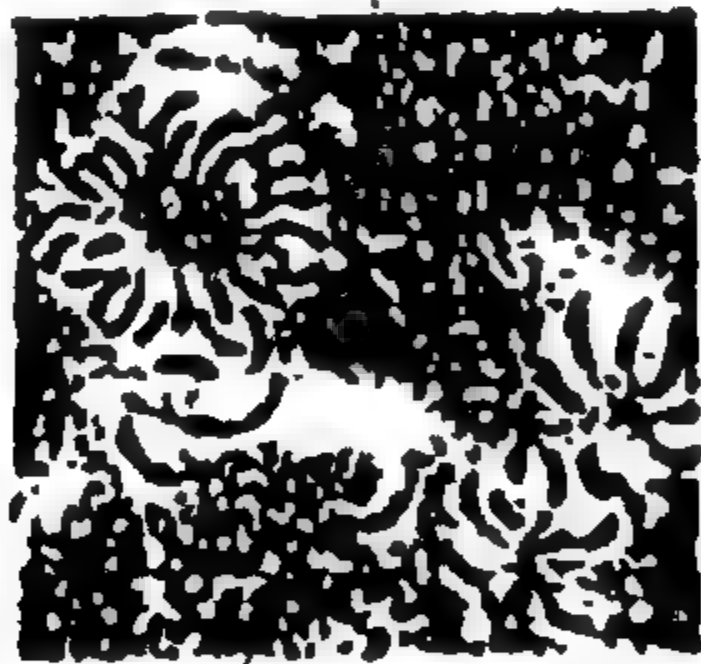
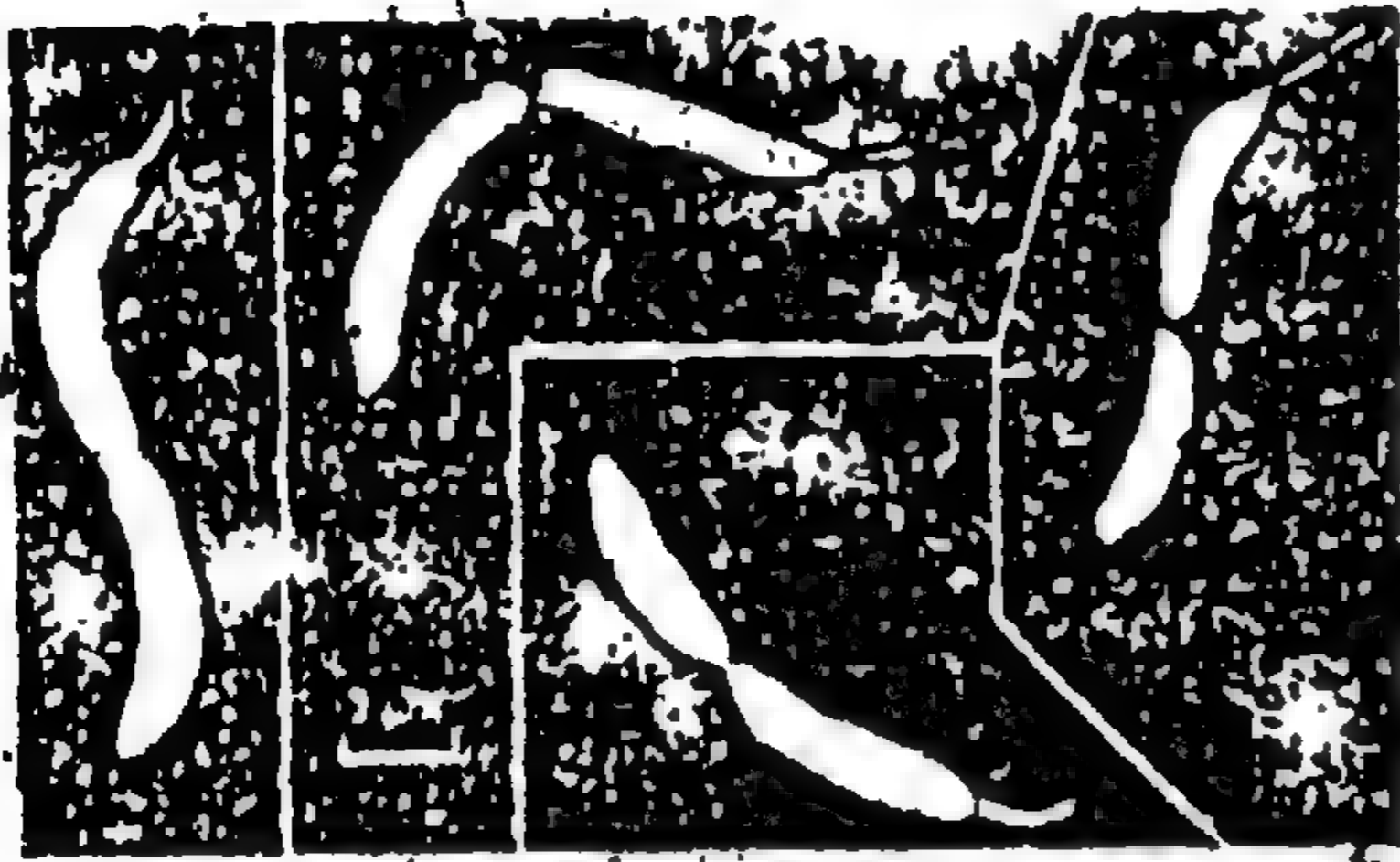
(٢) البكتيريا العصوية التي تحتوى خلاياها على عدة انحناءات حتى تبدو كاللولب الحلزوني ، ويطلق عليها اسم Spirillum وجمعها Spirilla ويوجد منها عدة أنواع كالأمثلة بالشكل (٨-١٣) ، كما ينتمى أيضا لهذا النوع من الخلايا المنحنية البكتيريا المسماة الاسبيروكيتا Spirochetes (شكل ٨-١٤) وأكثرها شهرة تلك البكتيريا المسئولة عن مرض السيلان Treponema pallidum .

رابعا : البكتيريا الخيطية : Filamentous bacteria

وتسمى البكتيريا الخيطية باسم الأكتينومييسيتس Actinomycetes



شكل ٨-١١ : رسم توضيحي لبكتيريا
Bdellovibrio التي تهاجم
بكتيريا القولون *E. coli* وتتكاثر
بداخلها



شكل ٨-١٢ : صورة للبكتيريا المنحنية
Caulobacter

أ- صورة بالمجهر الإلكتروني لتوضيح
الانحناء والزائدة .

ب- صورة بالمجهر الضوئي لتوضيح
تكوين الوريدة

شكل ٨-١٣ : صورة بمجهر التباين
للـ *Spirillum volutans* بكتيريا

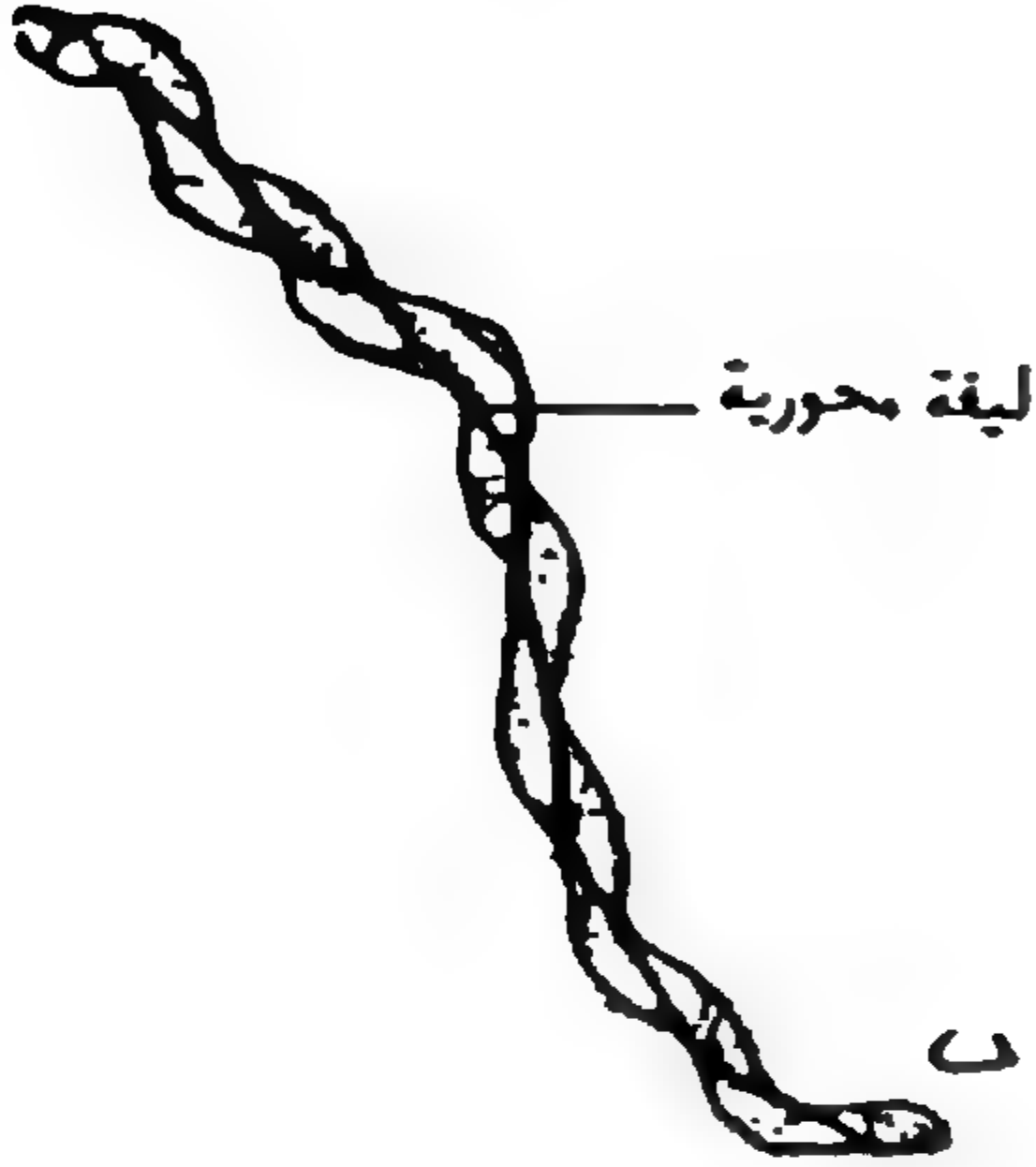




شكل ٨-١٤ : أمثلة لنماذج من
بكتيريا الاسبيروكيتا :

أ — Spirochaeta plicatilis

ب — Spirochaeta zuelezerae

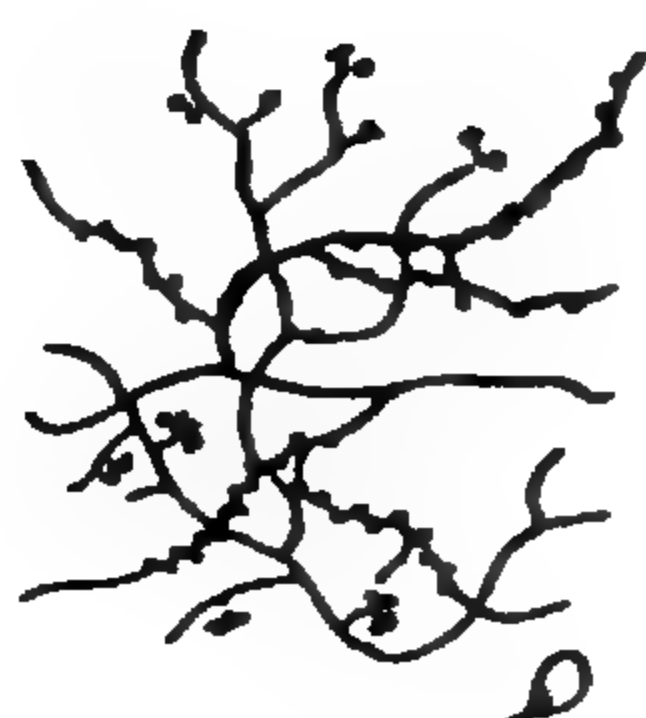
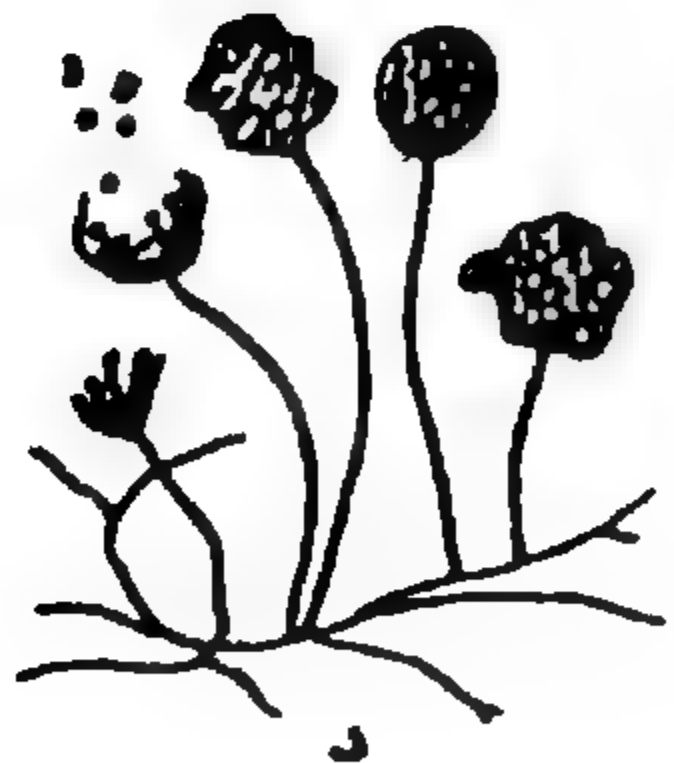
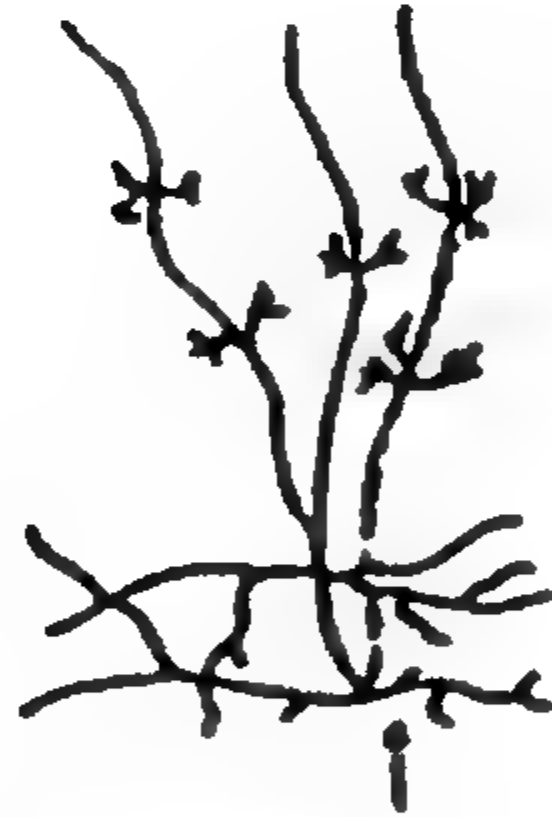
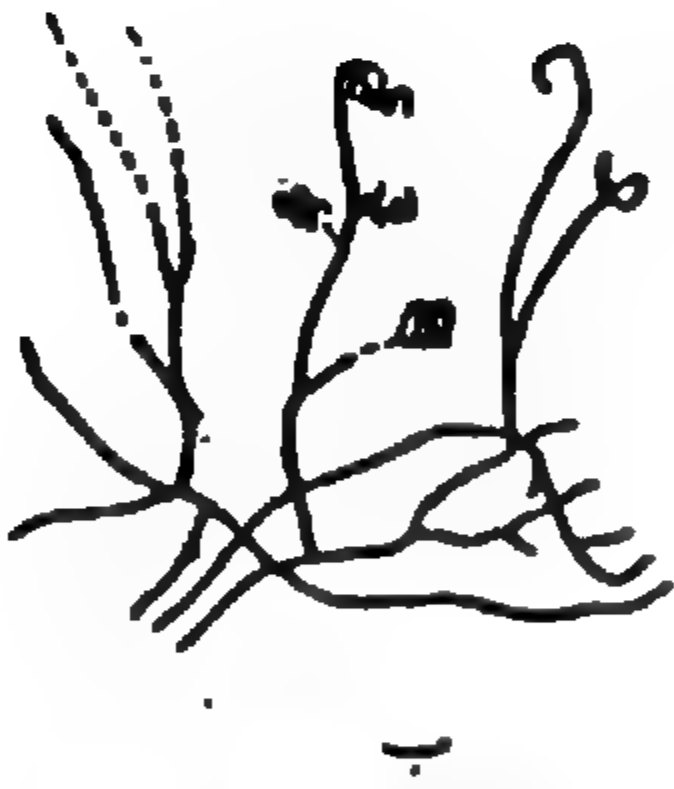


شكل ٨-١٥ :

— أشكال توضيحية لطريقة نمو بعض
الأكيتينوميستس الحقيقية .

في بعض الأجناس تتكون الجراثيم
على هيفات هوائية خاصة
أ ، ب ، ج ، د

في بعض الأجناس تتكون الجراثيم
على الميسليوم الأساسي
ه ، و



وهي مجموعة كبيرة جدا من الأحياء ذات النواة البدائية وتشبه الفطريات في قدرتها على تكوين الميسليوم Mycelium والذي يتكون من خيوط عديدة تسمى الهيفات Hyphae . وهيفات البكتيريا تقل في السمك كثيرا عن مثيلتها في الفطريات . فسمك هيفات البكتيريا لا تزيد عن ١.٥ ميكرون وميتر ، بينما يصل سمك هيفات الفطر الى ٥ ميكرون (الميكرون ميتر = ١٠^{-٦} من المتر) . والرائحة التي يشمها الانسان للتربة الزراعية ترجع بالدرجة الأولى لرائحة هذه المجموعة من الأحياء ، فهي منتشرة في الأراضي الزراعية بكثرة شديدة . وعند تنمية البكتيريا التابعة لهذا القسم يمكن تمييز مجموعتين أساسيتين منها :

(١) الأكتينوميستس البدائية Proactinomycetes

وفي هذه المجموعة يبدو الميسليوم بدائيا وغالبا يتكسر Massive Fragmentation مكونا خلايا عصوية أو حتى كروية ، وفي مثل هذه الحالة كثيرا ما يتم الخلط بين أفراد هذه المجموعة من البكتيريا وأفراد البكتيريا العصوية من جنس Bacillus العادية .

(٢) الأكتينوميستس الحقيقية Euactinomycetes

وفيها يتكون ميسليوم دائم (ثابت) ولا يتكسر (شكل ٨-١٥) مختلفا بذلك عن المجموعة الأولى . ويتم التكاثر بواسطة جراثيم (أبواغ) Spores خاصة ، ويمكن الإشارة الى أبسط طرق تكوين الجراثيم (الأبواغ) في هذه المجموعة والتي يمثلها أفراد الجنس ميكرومونوسبورا Micro monospora وفيها تتكون جراثيم فردية في أطراف الهيفات الزاحفة التي تمثل الميسليوم الخضرى Vegetativa mycelium لهذا الجنس ولا يكون أفراد هذا الجنس هيفات هوائية — أما الجنس سترپتومايسيس Streptomyces (وهو يتبع المجموعة الثانية أيضا) فلا تتكون الجراثيم (الأبواغ) أبدا على الميسليوم الخضرى بل تتكون هيفات خاصة تعرف بالهيفات الهوائية تتكون في أماكن النمو الكثيف للميسليوم الخضرى ، وهذه الهيفات تحمل

في نهايتها سلسلة من الجراثيم تسمى الكونيديا Conidia (شكل ٨-١٦) .

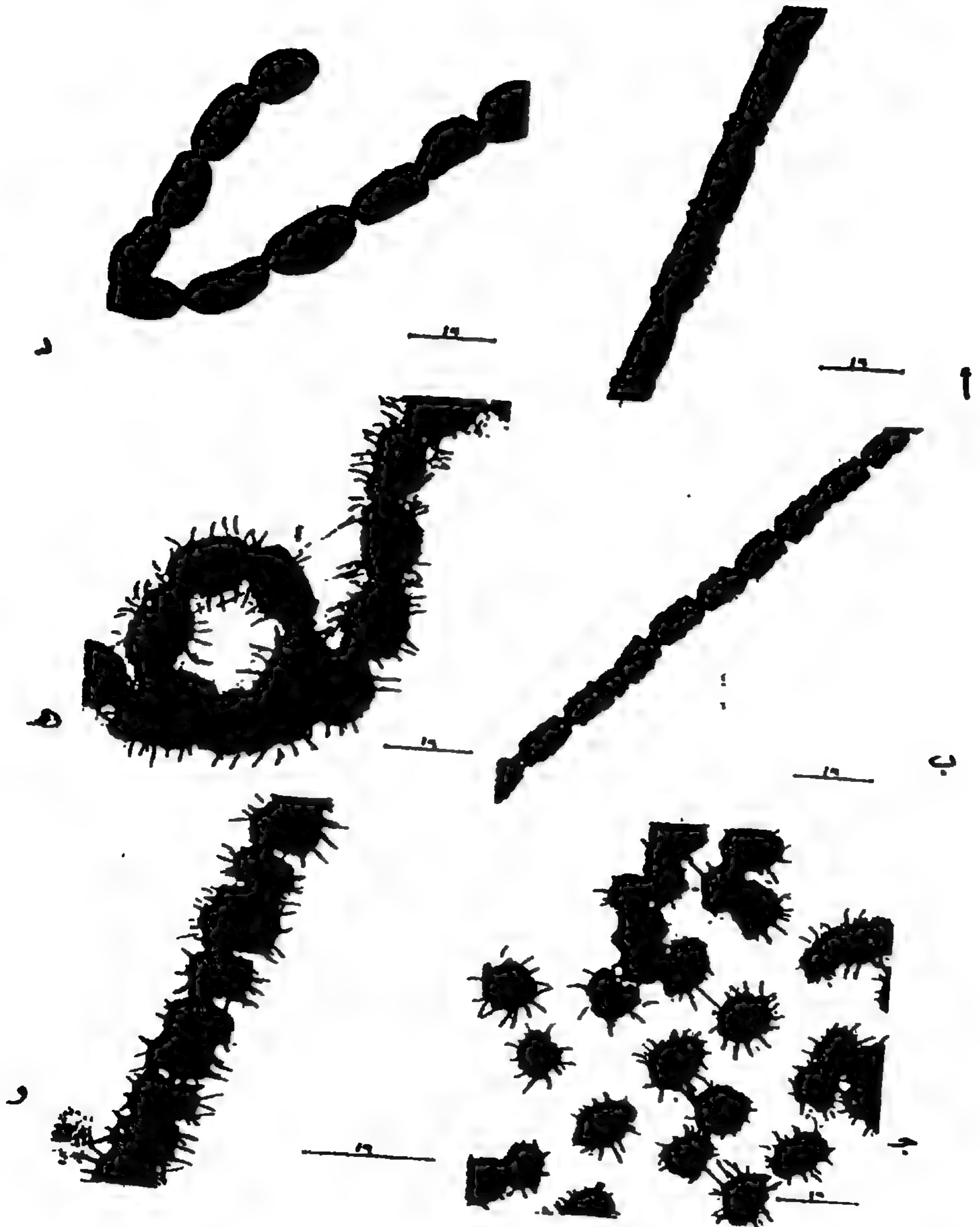
ومن الأجناس التابعة للأكتينومييسيتس الحقيقية أيضا جنس ستربتوسبورانجيم Streptosporangium وأفراد هذا الجنس تكون الجراثيم (الأبواغ) داخلها في انتفاخات (أكياس أسبورانجية Sporangia) في نهاية الهيفات الهوائية .

وبالرغم من أن جراثيم بكتيريا الأكتينومييسيتس (الحقيقية أو البدائية) غير متحركة بصفة عامة ، فإن بعضها يكون جراثيما أسبورانجية متحركة بالأسواط Flagella مثل أفراد الجنس Dermatophilus التابعة للأكتينومييسيتس البدائية Proactinomycetes .

وعلاوة على الأكتينومييسيتس Actinomycetes فإن هناك مجموعة أخرى من البكتيريا الخيطية ذات قدرة محدودة على التفرع وتشمل الميكوبكتيريا Mycobacteria والكوريني بكتيريا Corynebacteria والنوكارديا Nocardia .

وبالرغم من أن خلايا البكتيريا التابعة لهذه المجموعة تبدو عصوية الشكل . . إلا أنها ذات ميل لتكوين ميسليوم بدائي قابل للتجزؤ إلى خلايا عصوية .

وتتميز خلايا الميكوبكتيريا عن باقي البكتيريا بمقاومتها للأحماض Acid Fastness ويمكن شرح هذه العبارة في أن خلايا الميكوبكتيريا التي سبق صبغها بمحلول فينولي ساخن من الفوكسين القاعدي Basic fuchsin تكتسب لونا أحمر لا يزول حتى بمعاملة بالأحماض المعدنية . وهذه الخاصية (المقاومة للأحماض Acid fastness) مرتبطة باحتواء الخلايا على محتوى كبير من الليبيدات المعقدة في الجدار الخلوي مما يجعل الخلايا شمعية طاردة للمياه Hydrophobic ولذلك تبدو المستعمرات منها خشنة — جافة ومجعدة السطح ، ومن أكثر أمثلة هذه المجموعة الميكروب المسبب لمرض السل Mycobacterium tuberculosis .



شكل ٨-١٦ : الشكل الظاهري لسلاسل الكونيدات في البكتيريا الخيطية
من جنس سترپتومايسس . Streptomyces

ومن أمثلة الكوريني بكتيريا *Corynebacteria* الميكروب المسبب
لمرض الدفتيريا والمعروف باسم *Corynebacterium diphtheria*.

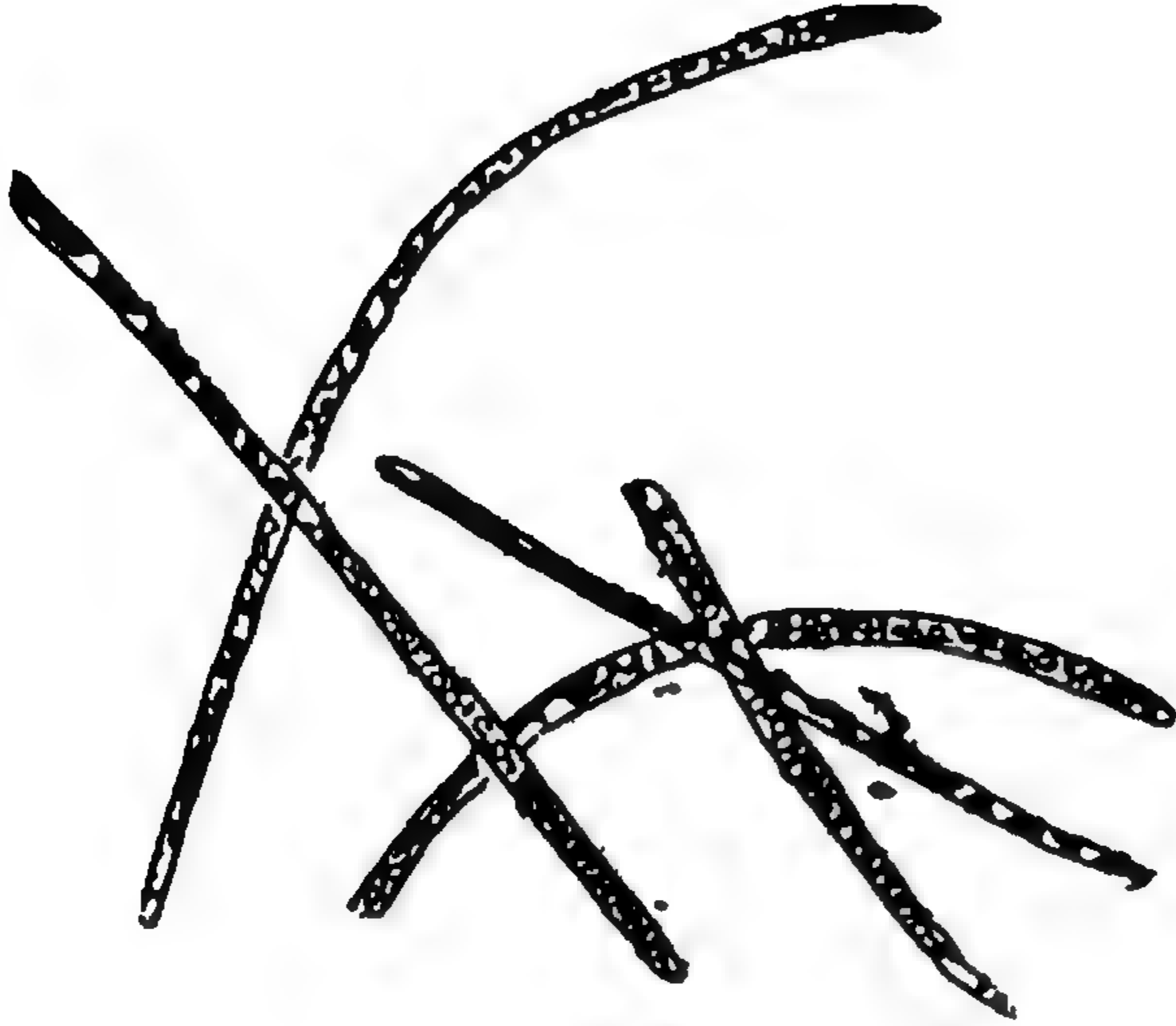
كما تتجمع خلايا البكتيريا الزاحفة *Gliding bacteria* العصوية
الشكل المعروفة باسم *Beggiatoa* على هيئة خيوط *Filaments* أيضا
(شكل ٨-١٧) وكذلك البكتيريا المؤكسدة للكبريت *Sulfur-oxidizing*
bacteria المعروفة باسم *Thiothrix* أيضا على صورة خيوط
أيضا . (شكل ٨-١٨) .

خامسا : البكتيريا المتبرعمة *Budding bacteria*

تنقسم معظم البكتيريا بالانقسام المباشر مكونة خلايا تشبه الخلية
الأم . أما البكتيريا التي تنقسم بالتبرعم *Budding* فان البرعم يظهر عند
أحد نهايتي الخلية ويظل في النمو الى أن يصل الى حجم يماثل حجم
الخلية الأم ، ويبين شكل (٨-١٩) الأشكال التي يمكن رؤيتها تحت
المجهر أثناء التبرعم في مزرعة من *Rhodopseudomonas* . أما الشكل
(٨-٢٠) فهو يوضح التبرعم في البكتيريا المعروفة *Hyphomicrobium*
vulgare التي يتكون البرعم فيها فوق زائدة أنبوبية تفصله عن الخلية الأم .
مجموعة أخرى من البكتيريا المتبرعمة مثل الـ *Ancalomicrobium* و
Prosthecomicrobium الا أننا سنذكرها تحت سادسا نظرا لتمييزها بشكل
خاص وهو الشكل النجمي .

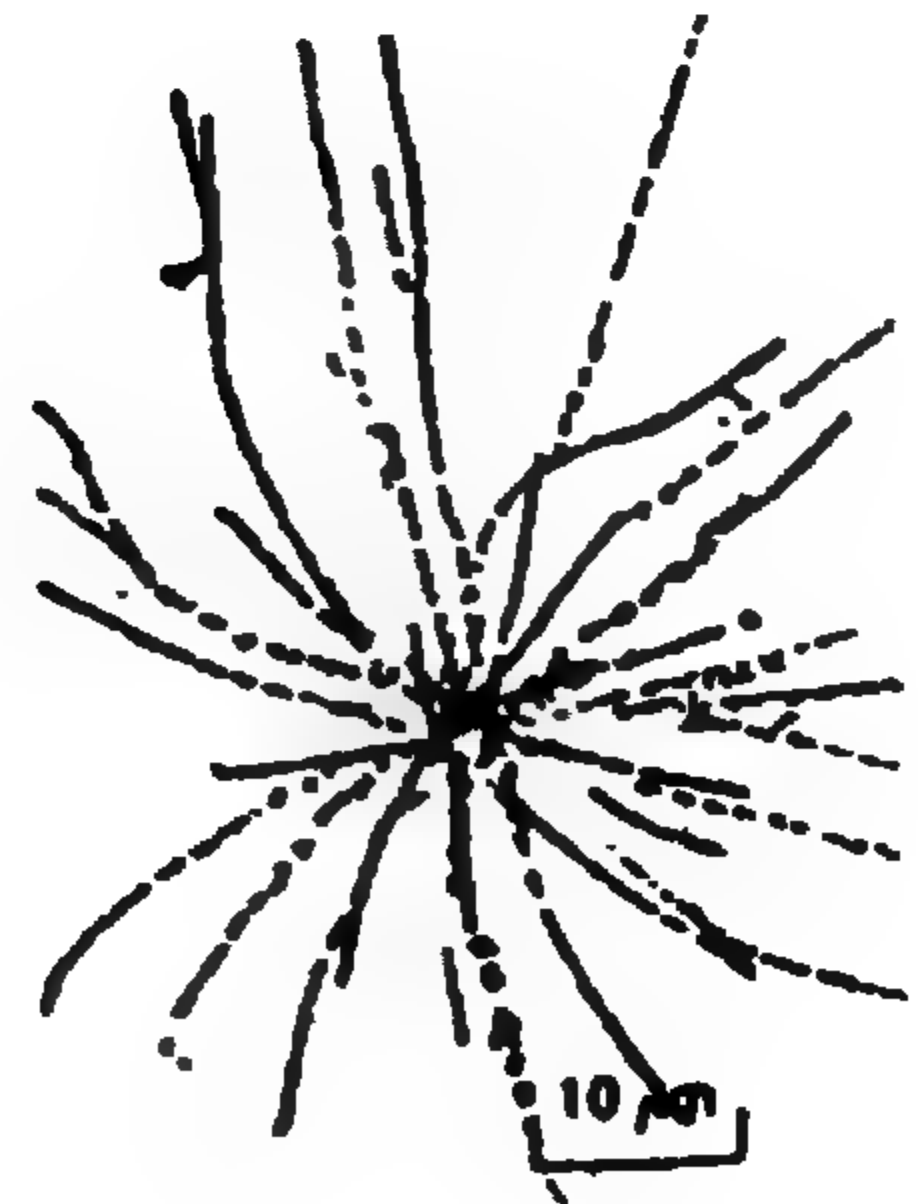
سادسا : البكتيريا النجمية *Star-shaped bacteria*

وتأخذ هذه البكتيريا شكل النجوم . وقد عزل *Staley* في عام
١٩٦٨م بكتيريا ذات أشكال نجمية مختلفة من مياه عذبة ، ومن أمثلة
البكتيريا النجمية *Ancalomicrobium* شكل (٨-٢١ أ، ب) ويوضح
الشكل الخطوات التي تتم حتى ينتهي التبرعم في هذا الجنس . كما عزل
Staley أيضا البكتيريا النجمية المعروفة باسم *Prosthecomicrobium*
pneumaticum (شكل ٨-٢١ ج) وهي تأخذ شكل النجمة السداسية ،



شكل ٨-١٧ : صورة بمجهـر
التباين لـمزرعة Beggiatoa

شكل ٨-١٨ : الوريدات التي
تكونها البكتيريا الخيطية المؤكسدة
للـكبريت • Thiothrix



شكل ٨-١٩ : صورة بمجهر التباين لخلية متبرعمة من

Rhodopseudomonas acidophila



شكل ٨-٢٠ : صورة بالمجهر الالكترونى

- أ - للبكتيريا Hyphomicrobium Sp التي تتكاثر بالتبرعم فوق زائدة خاصة .
ب - للبكتيريا الملتفة ويظهر البرعم فى نهاية الخلية الملتفة على هيئة حبل .





شكل ٨-٢١ : صورة مجهرية للبكتيريا النجمية المختلفة

أ- صورة بالمجهر الالكتروني لبكتيريا الماء العذب Ancalomicrobium adetum

ب- صورة بمجهر التباين لنفس البكتيريا .

ج- صورة بالمجهر الالكتروني لبكتيريا الماء العذب Prosthecomicrobium pneumaticum في نهاية مرحلة الانقسام .

د- صورة بالمجهر الالكتروني لبكتيريا الماء العذب غير مسماة حاليا .

كما تمكن نفس الباحث من عزل بكتيريا أخرى ذات شكل نجمي غير منتظم (شكل ٨-٢١ د) .

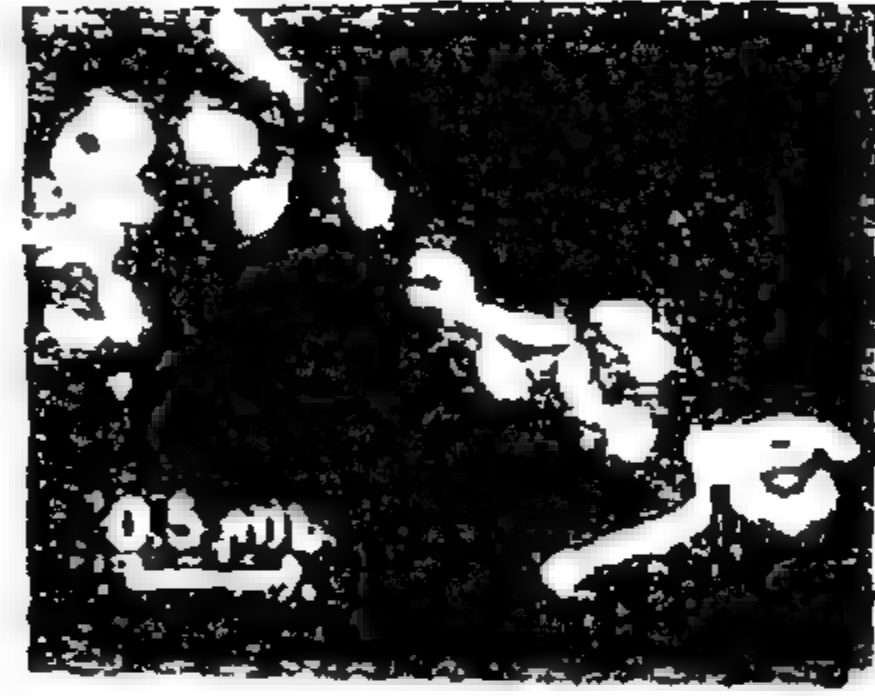
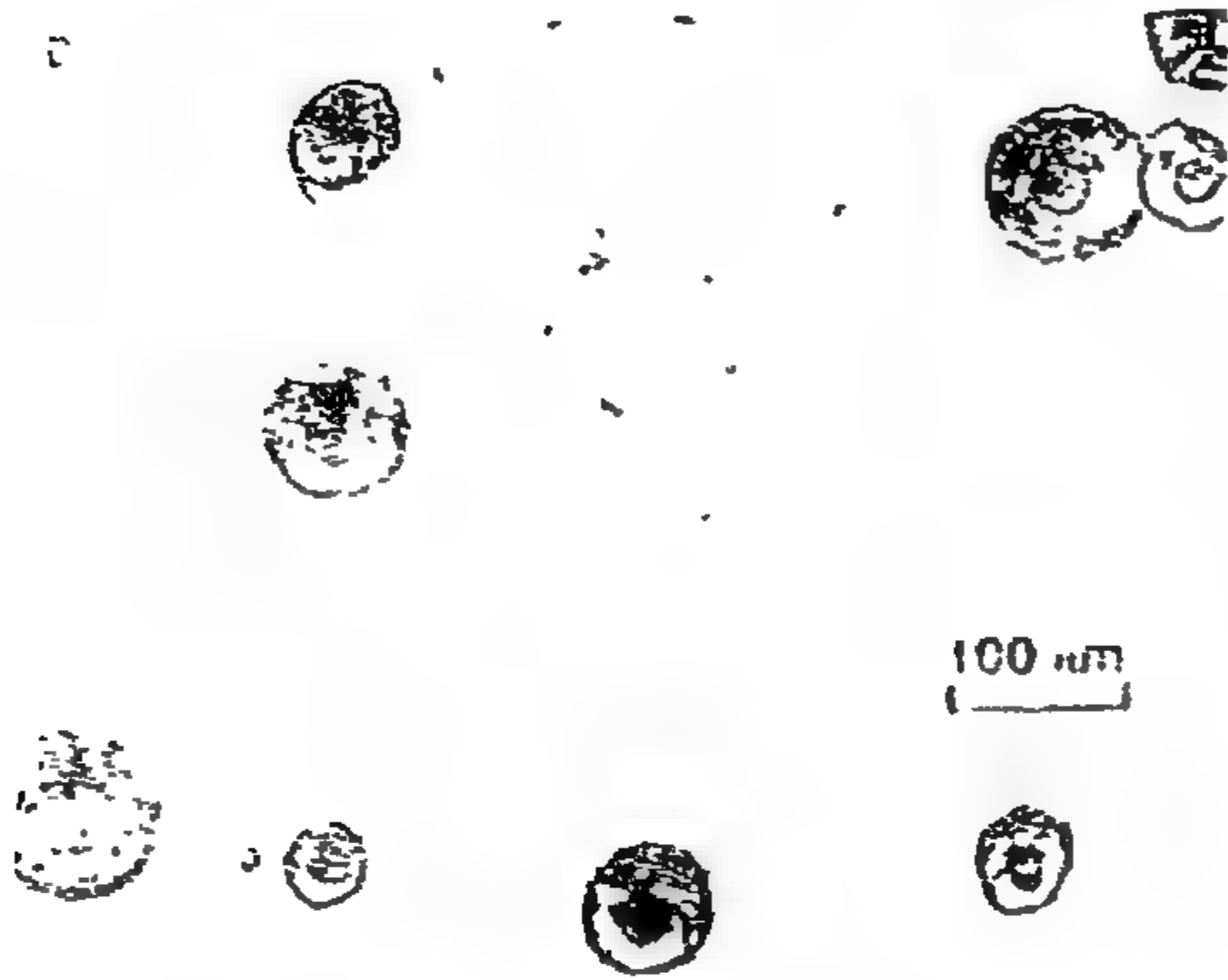
سابعاً : البكتيريا غير منتظمة الشكل

Irregular-shaped bacteria

تأخذ البكتيرياات المختلفة أشكالاً مختلفة محددة نتيجة وجود الجدار الخلوي ذو الطبيعة الصلبة . إلا أن إحدى مجموعات البكتيريا ليس لها جدار خلوي وتعرف باسم الميكوبلازما Mycoplasma . ونتيجة لانعدام الجدار الخلوي تأخذ هذه المجموعة من البكتيريا أشكالاً متعددة غير محددة وغير منتظمة (شكل ٨-٢٢) وتتميز مستعمراتها بشكل البيضة المقلية فيتوسطها مركز أبيض يحيطه طبقة شفافة نوعاً ما (شكل ٨-٢٣) ، ومعظم أفراد هذه المجموعة متطفلة

شكل ٨-٢٢ : صورة بالمجهر
الالكترونى لخلايا بكتيريا
الميكوبلازما Mycoplasma

شكل ٨-٢٣ : الشكل المميز
لمستعمرات الميكوبلازما وهى
تتميز بشكل البيض المقلى فيكون
لها مركز ذو لون أبيض مرتفع
داخل محيط شفاف نوعا ما .



اجبارية وتعيش فى أوساط ذات ضغط أسموزى يعادل الضغط الأسموزى
للخلية المتطفلة مما يحفظ الخلايا من الانفجار ، كما تسبب هذه الكائنات
مشاكل كثيرة فى مزارع الأنسجة Tissue cultures . ولقد كان الميكوب
المسبب لمرض ذات الجنب والرئة Pleuropneumonia فى الماشية هو
أول ما اكتشف من أمراض هذه المجموعة . لذلك فقد ظلت هذه المجموعة
تسمى باسم PPLD لفترة زمنية طويلة اختصارا لـ Pleuropneumonia
like organisms . ولكن أفراد هذه المجموعة تصيب الانسان وكثير
من الحيوانات الفقارية الأخرى .

ما سبق يتضح أن البكتيريا ذات أشكال متعددة منها الكروى أو
العصوى ، أو المنحنى أو الحلزونية أو الخيطى أو النجمى وغيرها . وهذه
الأشكال تؤثر بدرجة كبيرة على سلوك الخلايا وثباتها . فالبكتيريا الكروية
مثلا أكثر مقاومة لظروف التجفيف أو الحرارة من البكتيريا العصوية أو
الحلزونية ، ولذلك نجد أن معظم جراثيم Spores البكتيريا - بما
فى ذلك جراثيم البكتيريا العصوية - هى من النوع الكروى أو البيضاوى .
بينما تمتاز البكتيريا العصوية بزيادة السطح المعرض بالنسبة للحجم
عن البكتيريا الكروية . ولذلك فهى تأخذ العناصر الغذائية من محلول

مخفف بسرعة أكبر كما أن تمثيلها الغذائي Metabolism يتم بسرعة أكبر من البكتيريا الكروية ، وتتميز البكتيريا الحلزونية Spiral from (عندما تكون من النوع المتحرك) بسهولة الحركة في السوائل عن البكتيريا العصوية ، وذلك لأنها تتحرك بحركة تشبه حركة فتاحة الغلين ، وهى تلقى مقاومة أقل من مقاومة البكتيريا العصوية .

ج - الصبغ كصفة ظاهرية :

رغم أن الصبغ لا يعتبر صفة مورفولوجية (ظاهرية) بدقة . إلا أن - الاتجاهات الحديثة في تقسيم البكتيريا قد اعتبرت صبغة جرام المستخدمة في صبغ البكتيريا صفة هامة مع الصفات المورفولوجية الأخرى ، ولذلك فإننا هنا سنعتبر الصبغ أحد صفات الشكل الظاهرى . وقد قسم دليل بيرجى التقديرى للبكتيريا مجموعات عديدة من البكتيريا وفقا للصفات المورفولوجية (عصوى - كروى - حلزونية . الخ) مع صبغة جرام (كالعصوية الموجبة لجرام والعصوية السالبة لجرام . الخ) .

ظهر الاحتياج لصبغ البكتيريا - منذ وقت كبير - نظرا لأنها شفاقة ، وعادة يصعب تمييزها من الوسط المحيط في غياب الصبغات المناسبة ، ولكن المجاهر الحديثة (مثل مجاهر التباين) تسمح برؤية البكتيريا بوضوح دون صبغ كما أشرنا الى ذلك عند شرح مجهر التباين .

ومع ذلك فما زال الصبغ مهما لأسباب أخرى أهمها التعرف على البكتيريا موضع الدراسة ، فقد أصبح الصبغ بجرام وسيلة تعريفية هامة للبكتيريا . كما أن الصبغ قد يتم للتعرف على بعض التركيبات الخلوية مثل الأسواط Flagella أو الكابسولة Capsule أو الجراثيم الداخلية Endospores أو الحبيبات المخزنة كالغوليوتين Volutin والأجسام النووية Nuclear bodies وغيرها . وعلى أى حال يمكن تقسيم طرق الصبغ الى قسمين :

أولا : صبغ خلايا البكتيريا نفسها :

الصبغات البكتيرية عبارة عن مواد عضوية تمتص أو تدمص أو تتفاعل مع واحد أو أكثر من مكونات الخلايا . وعلى سبيل المثال فان عددا من الصبغات الشائعة الاستعمال عبارة عن مواد كاتيونية Cationic موجبة الشحنة ، وترتبط بقوة ببعض مكونات الخلايا مثل المواد الأنيونية Anionic سالبة الشحنة مثل الأحماض النووية والسكريات العديدة الحمضية . ومن أمثلة الصبغات الكاتيونية صبغات أزرق الميثيلين Methylene blue والبنفسجى المتبلور Crystal violet والسفرانين Safranin . وحيث أن خلايا البكتيريا - بصفة عامة - تحمل على سطحها شحنة سالبة ، فان الصبغات المذكورة ترتبط مع سطح الخلية بسرعة ولذلك فهي صبغات عامة ممتازة لتمييز الخلايا من الأساط المحيطة بها .

النوع الآخر من الصبغات (مثل الأيوسين Eosin والفوكسين Fuchsin وأحمر الكونغو Congo red) عبارة عن صبغات أنيونية سالبة الشحنة وترتبط في الخلايا بالمكونات الخلوية موجبة الشحنة مثل العديد من البروتينات الخلوية .

كما أن صبغة أسود سودان Sudan black (وهي صبغة تذوب في الدهن) ترتبط مع المواد الدهنية في الخلية ، وبذلك تستخدم هذه الصبغة للكشف عن وجود الدهون وموقعها في الخلايا .

وطرق الصبغ السابقة الذكر والتي يستخدم فيها عادة صبغة واحدة تشير إليها بعض المراجع بطرق الصبغ البسيط تميزا لها عن طرق الصبغ المركب والتي يستخدم فيها أكثر من صبغة واحدة مثل صبغة جرام وصبغة الجراثيم الداخلية وصبغ الأسواط وصبغ الجدار الخلوى وصبغ النواة وغيرها . ويمكن مراجعة أحد الكتب العملية لمعرفة تفاصيل طرق الصبغ المذكورة .

وتعتبر صبغة جرام هي أهم طريقة صبغ في علم البكتيريا لما لها من أهمية في التعرف على الكثير من البكتيريا حيث أنها لا تصبغ كل البكتيريا بنفس اللون ، فبعض البكتيريا تكتسب لونا معيناً (أزرق فسي الموجبة لصبغة جرام) بينما البعض الآخر تكتسب لونا آخر (أحمر فسي البكتيريا السالبة لصبغة جرام) لذلك تعتبر هذه الطريقة في الصبغ من الطرق التفريقية . Differential stain

صبغة جرام : Gram stain

لا تقتصر أهمية صبغة جرام على تصنيف البكتيريا ، بل إنها أيضا تبين خلافاً أساسية في تركيب الجدار الخلوي للبكتيريا المختلفة ، وفي هذه الطريقة يتم تحضير غشاء من البكتيريا ويثبت بالحرارة ثم يغمر الغشاء البكتيري بمحلول من صبغة البنفسجي المتبلور Crystal violet ثم يغسل ويغمر بمحلول يود . حيث يكون اليود مع البنفسجي المتبلور مركب معقد قابل للذوبان بالكحول (الايثانول) أو الأسيتون . لذلك فانه بعد الغمر بمحلول اليود يتم الغسيل بالكحول أو الأسيتون ، والخطوة الأخيرة في الصبغ تكون بواسطة السفرانين أو الفوكسين .

والهدف من الغسيل بالكحول هو ازالة المركب المعقد الناتج من تفاعل البنفسجي المتبلور مع اليود من الخلايا السالبة لصبغة جرام والتي تحتوى على طبقة رقيقة من مادة الببتيد وجليكان الشبكية التركيب والتي تسمح بنفاذ هذا المركب المعقد الذائب الأزرق اللون الى خارج الخلية عند الغسيل بالكحول فتصبح الخلايا السالبة لصبغة جرام شفافة في نهاية الغسيل بالكحول . أما الخلايا الموجبة لصبغة جرام والتي تحتوى على طبقة سميكة من مادة الببتيد وجليكان الشبكية التركيب والتي تضيق ثقبها عند المعاملة بالكحول فان الغسيل بالكحول لا يسمح بخروج المركب المعقد (البنفسجي المتبلور - اليود) من تلك الثقوب الضيقة . فتؤدي عملية الغسيل بالكحول الى عدم ازالة المركب المعقد الأزرق اللون من الخلايا الموجبة لصبغة جرام فتأخذ الخلايا اللون الأزرق في نهاية الغسيل بالكحول .

أما الهدف من الغمر بالسفرانين أو الفوكسين بعد الفسيـل بالكحول فتهدف الى اظهار الخلايا السالبة لصبغة جرام بلون آخر (أحمر) غير اللون الأزرق المميز للخلايا الموجبة لصبغة جرام .

ومن الجدير بالذكر أن صبغة جرام ليس لها علاقة بالتركيب الكيميائي لطبقة الببتيد وجليكان والتي توجد في البكتيريا فقط . حيث أن كلا من البكتيريا السالبة والموجبة لصبغة جرام تحتويان على طبقة الببتيد وجليكان ولكن يختلف سمك طبقة الببتيد وجليكان فيهما ، فالبكتيريا السالبة لصبغة جرام تحتوي على طبقة جزئية واحدة من مادة الببتيد وجليكان ، أما البكتيريا الموجبة لصبغة جرام فتحتوي على عدة طبقات جزئية من هذه المادة ، كما سيلي ذكره في تركيب الجدار الخلوي .

وكدليل آخر على عدم علاقة طبقة الببتيد وجليكان بالتركيب الكيميائي لطبقة الببتيد وجليكان يلاحظ أن الخميرة موجبة لصبغة جرام ، بينما لا تحتوي على مادة الببتيد وجليكان . وذلك يؤكد أن التركيب الطبيعي للجدار الخلوي وليس التركيب الكيميائي هو السبب الرئيسي في الاستجابة لصبغة جرام . ويمكن الرجوع الى التركيب الكيميائي للجدار الخلوي للبكتيريا السالبة أو الموجبة لصبغة جرام في الفصل التالي .

ثانيا : الصبغ السالب Negative staining (صبغ الوسط

الذي توجد فيه البكتيريا :

وهو يعتمد على صبغ الوسط الموجودة فيه البكتيريا دون صبغ البكتيريا نفسها ، فتظهر البكتيريا الغير مصبغة في وسط مصبوغ ، وأكثر ما تستخدم هذه الطريقة لفحص العلية (الكبسولة) Capsule لبعض أنواع البكتيريا أو لفحص البكتيريا التي يصعب صبغها بطرق الصبغ (الموجبة) العادية مثل أفراد جنس (سبيروكيـتا Spirochaeta) والصبغ المستخدمة لهذا الغرض لا تمتص أو تدمص أو تتفاعل مع مكونات الخلايا ، ومن أمثلتها الحبر الهندي India ink (وهو عبارة عن مستحلب لحبيبات الكربون الغروية) وصبغة النيجروسين Nigrosin (وهي

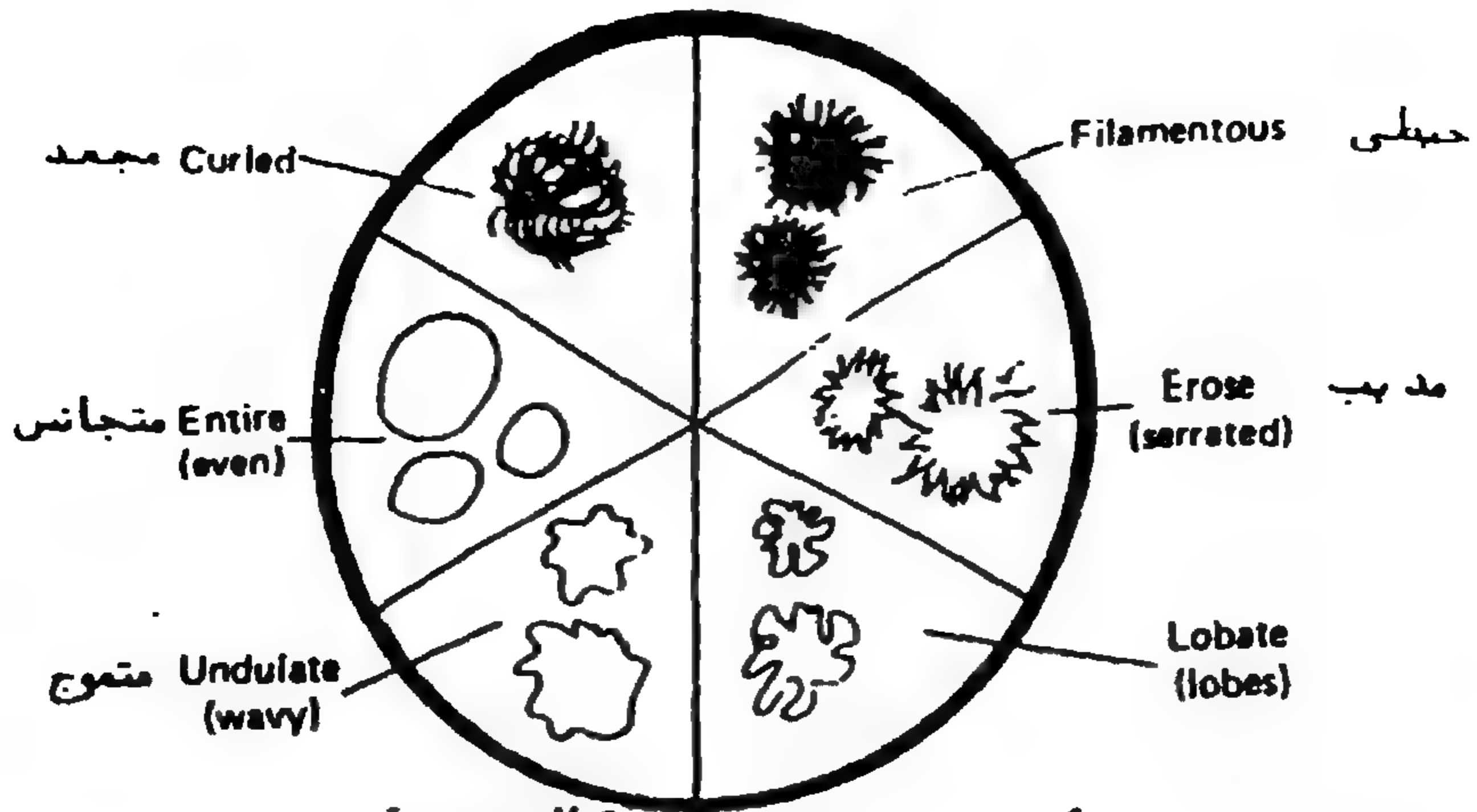
عبارة عن صبغة سوداء ذاتية في الماء (١) .

والصبغ السالب بالحبر الهندي أو النيجروسين لا بد أن يفحص في وسط سائل ولا يجب أن يجف . فيحضر معلق بكتيري في ماء ثم يوضع على شريحة نظيفة ويغطى بغطاء الشريحة . ثم توضع نقطة من الصبغة عند أحد حواف غطاء الشريحة فتدخل الصبغة الى تحت الغطاء ببطء ويمكن فحص الشريحة بذلك تحت المجهر .

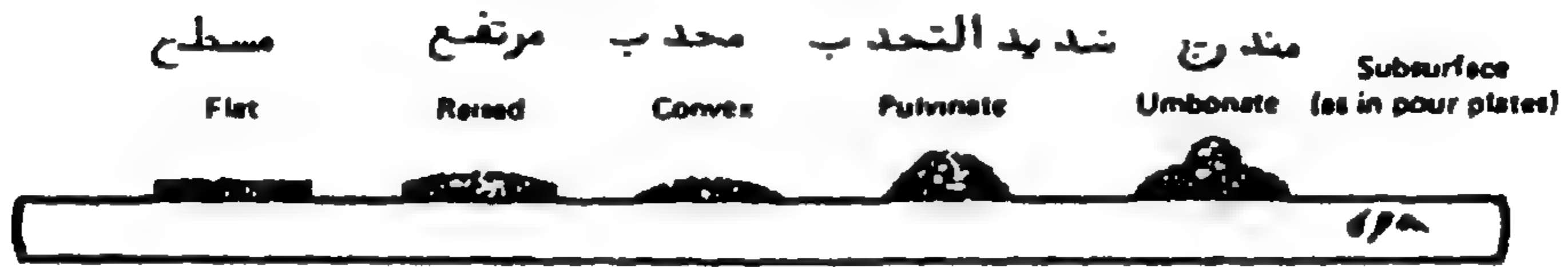
د - صفات المستعمرات :

ان صفات المستعمرات علمي المستنبات الصلبة والسائلة — حيث اللون والشكل والتركيب واللحمان والنمو عن سطح المستنبت أو تحته وخشونة المظهر أو نعومته الى آخره (شكل ٨-٢٤ أ - د) ذات درجة محدودة جدا في التعرف على البكتيريا أو غيرها من الأحياء الدقيقة ، ولذلك فهي — حاليا — لا تستعمل للتعرف على البكتيريا خاصة وأن هذه الصفات قد تتغير بتغير الظروف البيئية المختلفة . (والشكل ٨-٢٥) يوضح أشكال مستعمرات من بكتيريا *Rothia dentocariosa* ، فبعضها يبدو خشن المظهر وبعضها ناعم المظهر رغم أن كلا المستعمرتين ناتجتان من نفس العزلة Single isolate وكلاهما نامى على نفس المستنبت (آجار الصويا والتربتيكاز Trypticase soy agar) وعند نفس العمر (٧ أيام) .

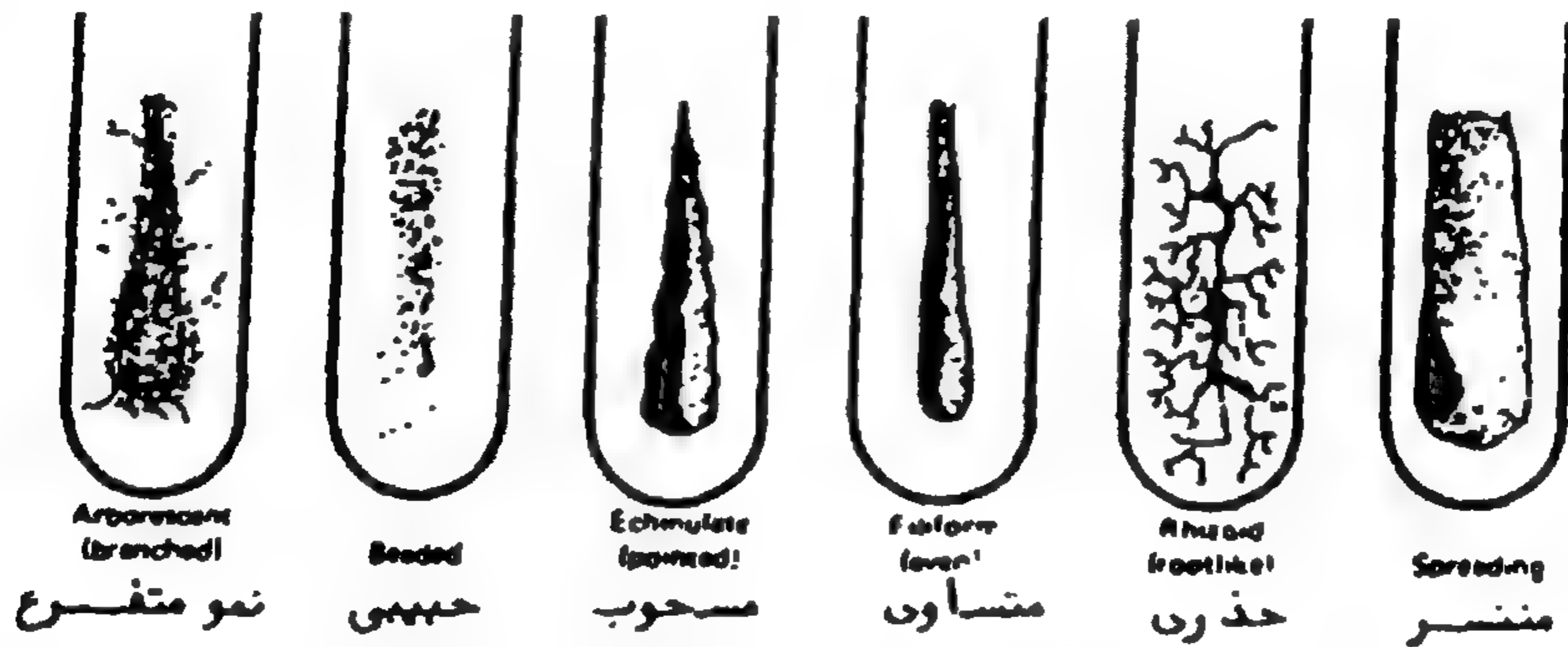
وفي حالات قليلة قد يفيد صفات المستعمرة في التعرف على البكتيريا كما سبق الإشارة الى ذلك في التعرف على مستعمرات بكتيريا الميكوبلازما التي تشبه البيض المقلى وغير ذلك من الحالات المحدودة .



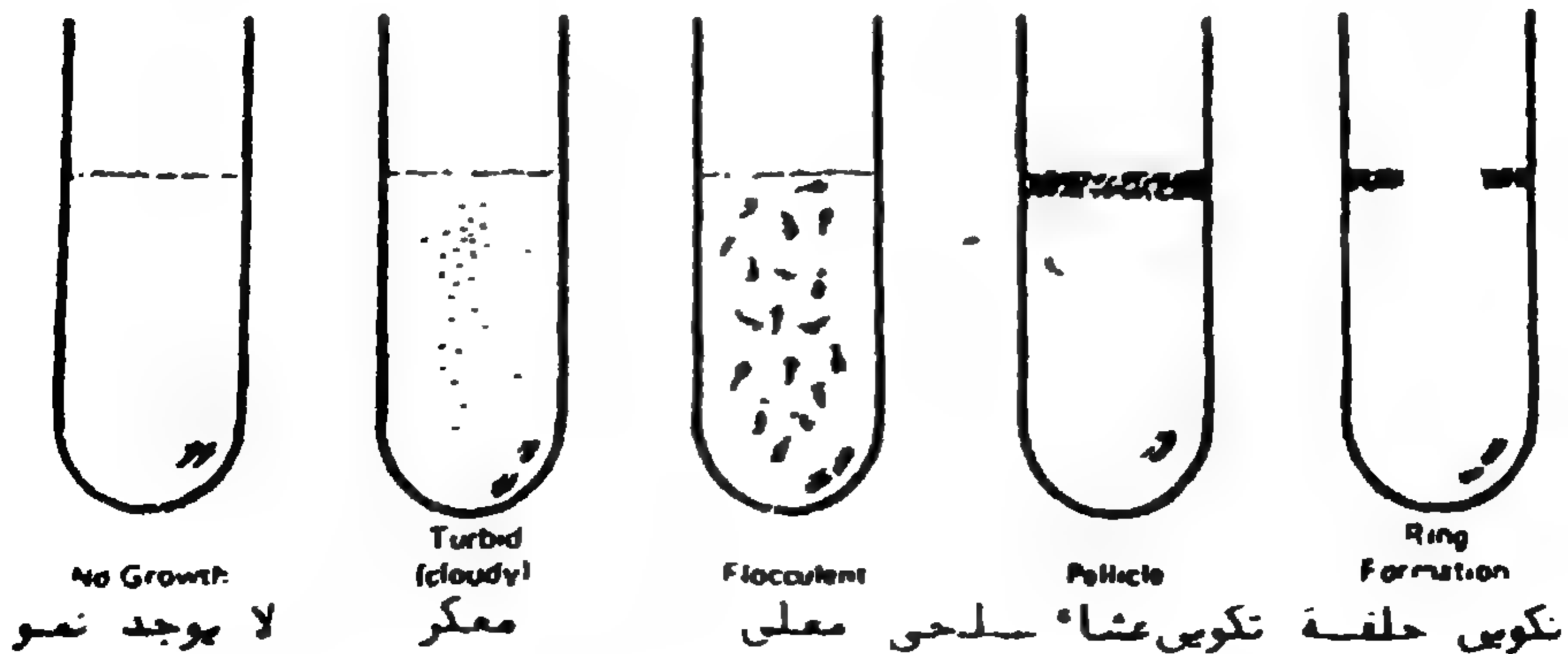
أ - خواص حافة المستعمرة



ب - خواص ارتفاع المستعمرة

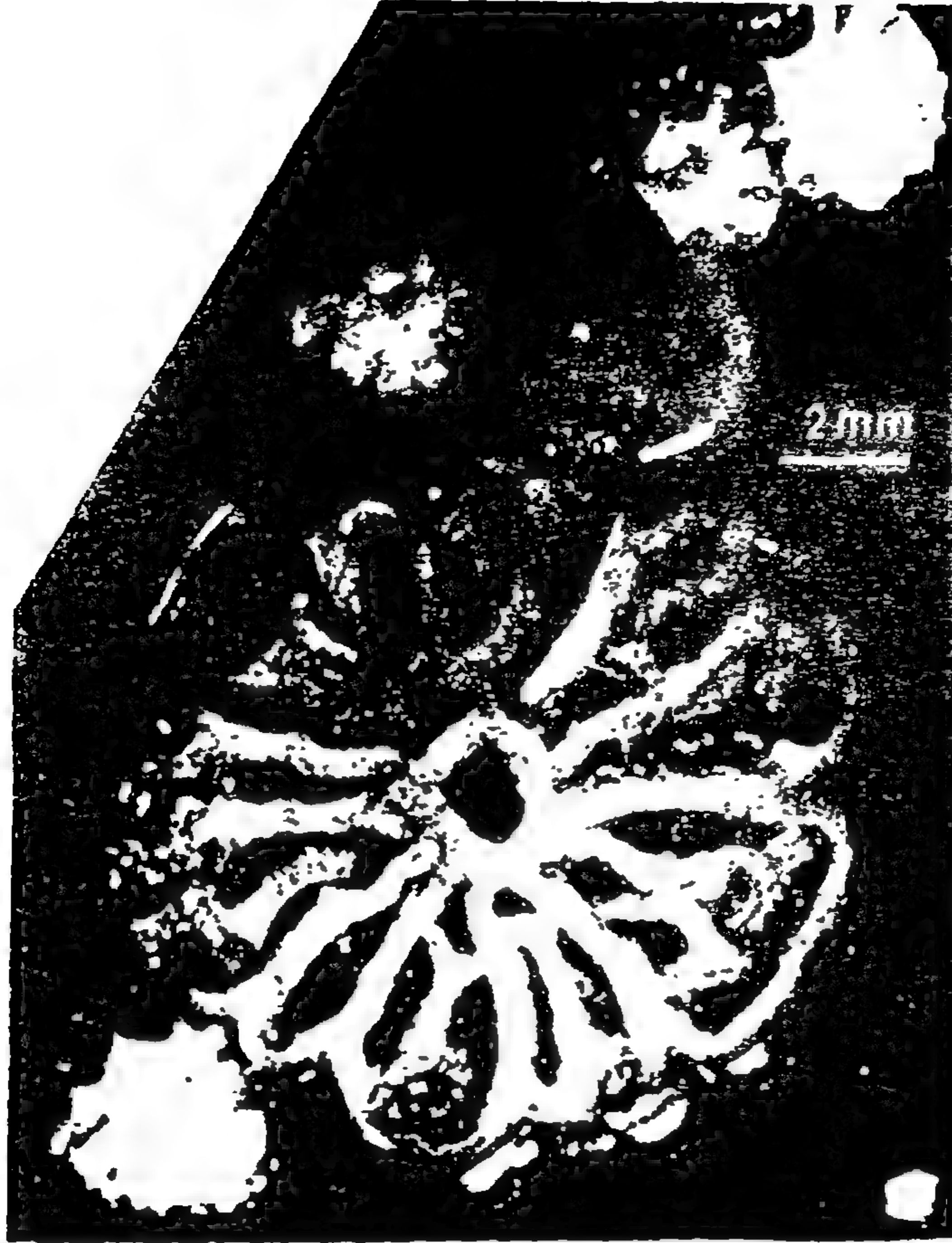


ج - عمل خط على سطح الاجار المائل



د - خواص النمو في مستنبت سائل

شكل ٨-٢٤ : صفات الاحياء الدقيقة على المستنبتات الصلبة



شكل ٨-٢٥ : مستعمرات من Rothia dentocariosa تظهر
مستعمرات مختلفة الشكل والتركيب على نفس المستنبت (آجار التريبتكساز
والصويا) وعند نفس العمر (٧ أيام)

الفصل التاسع

التركيب التشريحي والوظيفي لخلية البكتيريا

The Cellular Structure and Function of Bacterial Cell

بينما يرجع الفضل في اكتشاف الأحياء الدقيقة Microorganisms (الميكروبات Microbes) إلى المجهر، فإن التركيب التشريحي لخلايا البكتيريا وتمييزها عن غيرها من الكائنات الحية الدقيقة الأخرى يرجع بالدرجة الأولى إلى اكتشاف المجهر الإلكتروني Electron Microscope. وقد توصل العلماء إلى معرفة الكثير من أسرار هذه الكائنات الشديدة الصغر بعد اكتشاف المجهر الإلكتروني، والشكل (٩-١) يوضح صورة مأخوذة بالمجهر الإلكتروني لقطاع رقيق في بكتيريا *Bacillus subtilis* وفيها يبدو واضحاً أن الجدار الخلوي قد أتم الانقسام لتوه. ويظهر التركيب الغشائي للخلية متصلاً بالجدار الخلوي. أما الجزء الفاتح في الصورة فهو يوضح الجزء النووي.

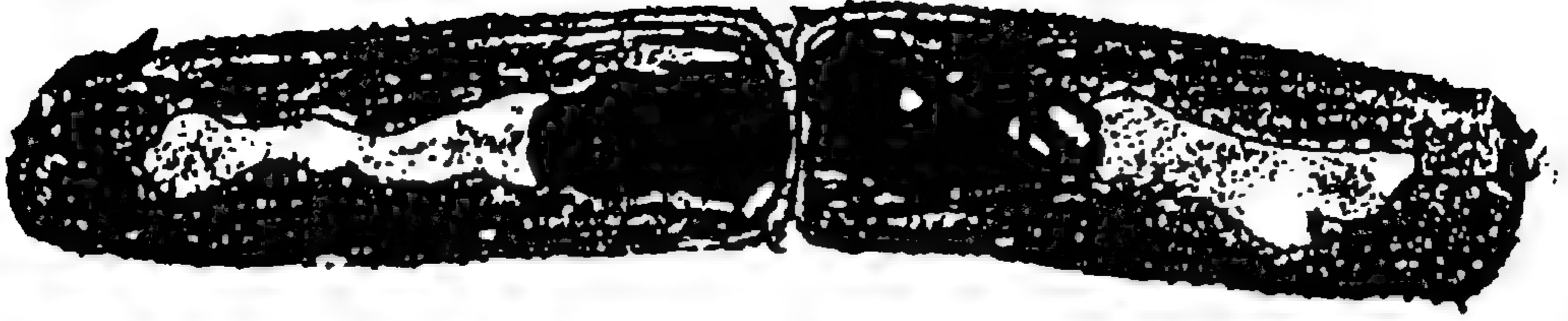
ويمكن تقسيم مكونات خلية البكتيريا إلى مجموعتين :

مكونات أساسية : Invariant components

وهي توجد في جميع الكائنات بدائية النواة وهي ضرورية للحياة. وتشمل الغشاء الخلوي Cell membrane والبروتوبلازم بما فيه من ريبوسومات Ribosomes والجزء النووي Nuclear region (النواة البدائية).

مكونات غير أساسية : Variant components

وهي توجد في بعض وليس كل ذوات النواة البدائية وربما يعزى إليها بعض الوظائف الخاصة في الخلايا التي تحتويها، وتشمل الجدار الخلوي Cell Wall والعلبة (الكبسولة Capsule) والطبقة الهلامية Slime layer والأسواط Flagella وأعضاء التثبيت Fimbrias والزوائد الجنسية Sex pili والأجسام الداخلية Inclusion bodies مثل المواد المخزنة والفجوات الغازية Gas vesicles والجراثيم Spores.



شكل ١-١ : صورة بالمجهر الالكتروني لقطاع رقيق في بكتيريا Bacillus subtilis في مرحلة الانقسام . وفي الصورة يبدو واضحا أن الجدار الخلوي قد انقسم لتوه ، كما يبدو أن الغشاء الخلوي في كلا الخليتين الأختين (يحتوى على باقى مكونات الخلية) متصلا بالجدار الخلوي العرضي الذى تكون لتوه . أما الجزء الفاتح من الصورة فهو يحتوى على الحد مض النووى DNA (التكبير ٣١٢٠٠ مرة) .



شكل ١-٢ : صورة بالمجهر الالكتروني (تكبير ٢٢١٠٠٠ مرة) لقطاع رقيق من الغشاء الخلوي ويتحدد بخطين واضحين أسودين بينهما منطقة فاتحة اللون .

والبلازميدات Plasmids.

: Invariants

أولاً : المكونات الأساسية

: Cell membrane

١- الغشاء الخلوي

ويطلق عليه أيضا اسم الغشاء السيتوبلازمي Cytoplasmic membrane أو الغشاء البلازمي Plasma membrane لأنه يعتبر مسئولا عن كل عمليات الانتشار الغشائي من الخلية واليها . وهذا الغشاء هو الطبقة الخارجية من البروتوبلاست Protoplast . والمقصود بالبروتوبلاست هو الخلية المتكاملة بعد اذابة الجدار الخلوي وهو الطبقة الحقيقية التي تفصل داخل الخلية عن البيئة الخارجية . واذ جرح أو قطع الغشاء الخلوي فان تكامل الخلية ينتهي وعادة تموت . لذلك فان الغشاء الخلوي المتكامل ذو أهمية أساسية بالنسبة للخلايا بينما يمكن اذابة الجدار الخلوي وحفظ البروتوبلاست في محلول ذو ضغط أسموزي يعادل الضغط الأسموزي للخلية دون أن يتأثر نشاط الخلية .

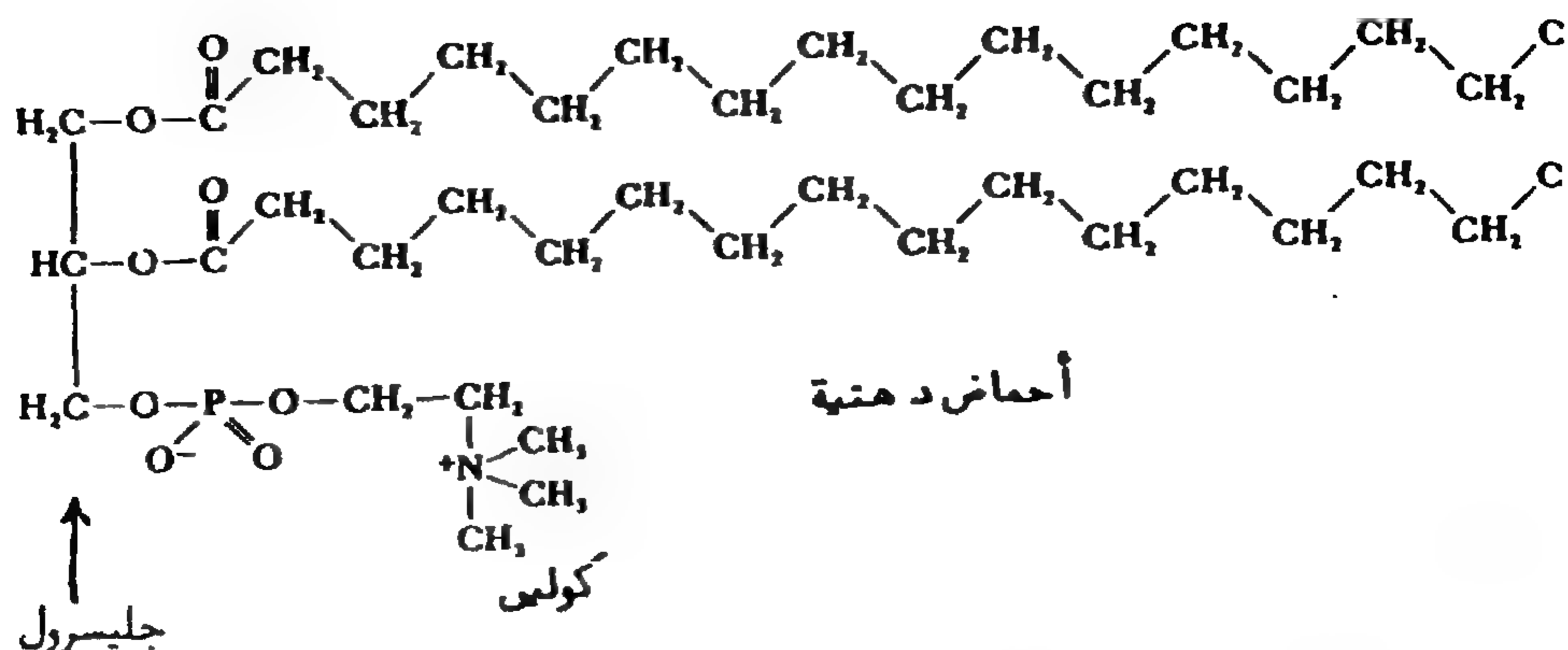
والغشاء الخلوي عبارة عن طبقة رقيقة جدا سمكها ٨ نانوميتر (nm) يمكن رؤيتها في الصور المأخوذة بواسطة المجهر الالكتروني مثلا بخطين متوازيين بينهما منطقة فاتحة اللون (شكل ٩-٢) وتلي طبقات الجدار الخلوي مباشرة وتحيط بجميع مكونات الخلية الداخلية . وهذا التركيب هو ما يعرف باسم أساس تركيب الأغشية الخلوية (وحدة الغشاء Unit membrane system) يوجد في معظم الكائنات الدقيقة ذات النواة البدائية . ويسمى هذا التركيب بوحدة الغشاء Unit membrane تمييزا له عن الأغشية الأكثر تعقيدا . وأهم مكونات الغشاء الخلوي هي الفوسفوليبيدات Phospholipids والبروتينات Proteins . وتكون الفوسفوليبيدات التركيب الأساسي للغشاء . فتنتشر جزيئات الفوسفوليبيدات (شكل ٩-٣) في الماء بحيث تتجمع الأجزاء غير المحبة للماء (الطاردة للماء) Hydrophobic للداخل في الوسط مكونة الطبقة الفاتحة

اللون . وتتجمع الأجزاء القابلة للذوبان في الماء Ionic (المحبة للماء) Hydrophilic للخارج (لسطح الغشاء) وهذه الأجزاء هي التي تحمل الشحنات الكهربائية المختلفة مكونة الخطتين المتوازيتين اللذين يظهران في الصورة الناتجة عن المجهر الالكتروني ويمكن تخيل وضع هـ الفوسفوليبيدات في تكوين الغشاء الخلوى بالرسم الموضح في شكل (٩-٤) . أما بروتينات الغشاء الخلوى فمعظمها غير محب للماء (طارد للماء) Hydrophobic وهي توجد منتشرة في وسط شبكة الفوسفوليبيدات Phospholipid matrix مرتبطة بها . ومما يساعد على ثبات هذا التركيب وجود الروابط الأيونية Ionic bonding بين الأجزاء المحبة للماء Hydrophilic والروابط الطاردة للماء Hydrophobic bonding بين الأجزاء الطاردة للماء Hydrophobic كما أن أيونات المغنسيوم والكالسيوم تلعب دورا هاما في ثبات هذا التركيب خاصة في الجزء المحب للماء .

وتختلف الأغشية الخلوية لذوات النواة الحقيقية Eucaryotes عن هذا التركيب في احتوائها علاوة على ما سبق على الستيرولات Sterols ... وما يجدر ذكره أن الأغشية الخلوية للميكوبلازما Mycoplasma (وهي مجموعة البكتيريا التي لا تكون جدارا خلويا) تحتوى أيضا في أغشيتها الخلوية على الستيرولات Sterols .

دور الأغشية الخلوية كغشاء شبه منفذ

بالرغم من رقة (قلة سمك) الغشاء الخلوى ، الا أنه يعمل كحاجز (مانع) جيد للانتشار الانسيابى أو البسيط Simple or passive movement وتطلق عليه بعض المراجع " الانتشار السلبي " للجزيئات الذائبة ، ومع العلم بأن بعض الجزيئات غير القطبية Non polar وبعض المواد الذائبة في الدهن يمكنها أحيانا اختراق الغشاء الخلوى عن طريق (الانتشار الانسيابى) وذوبانها في الطبقة غير المحبة (الطاردة) للماء Hydrophobic الا أن حركة معظم الجزيئات عبر غشاء الخلية تحدث من خلال ما يعرف بنظام النقل النشط Active Transport System .



فالجزيئات المتأينة كالأحماض العضوية والأحماض الأمينية والأملاح غير العضوية لا تستطيع اختراق الغشاء الخلوى لعدة أسباب منها :

(١) أنها تحمل شحنات كهربية مما يسبب طردها بعيدا عن الغشاء الخلوى .

(٢) أنها لا تذوب فى طبقة الدهن غير المحبة للماء 'Hydrophobic' الموجودة فى الغشاء .

(٣) أنه لا يوجد ثقب فى الغشاء الخلوى على درجة من الكبر تسمح بمرور هذه الجزيئات .

فحتى أيونات الهيدروجين (H^+) لا تستطيع بسهولة اختراق الغشاء الخلوى بالانتشار الانسيابى أو البسيط Passive transport ولكن يجب نقله بواسطة بروتينات خاصة خلال ما يعرف بالنقل النشط Active transport . لذلك فان وظائف الغشاء الخلوى تتمثل فى الآتى :

(١) حاجز يمنع اختراق المواد بصفة عامة .

(٢) جهاز نقل اختيارى Selective transport يمكنه اختيار مواد معينة لادخالها للخلية حتى ولو كانت موجودة بتركيز منخفض خارج الخلية .

(٣) المحافظة على المكونات الداخلية من التسرب للخارج . فالمعروف أن الخلية تحتوى على ما يعرف بالمحتويات الخلوية Cell pool

وهى عبارة عن محلول مائى لعدد من الأملاح والأحماض العضوية والأحماض الأمينية والفيتامينات ومرافقات الانزيمات وعدد كبير من الجزيئات . فعندما يفقد الغشاء الخلوى قدرته على التحكم فى مرور الجزيئات ، فان كل هذه المواد تفقد بسرعة ولا يبقى داخل الخلية الا الجزيئات الكبيرة نوعا والتي لا تستطيع المرور من الجدار الخلوى Cell wall .

(٤) يلعب الغشاء الخلوى فى ذوات النواة البدائية دورا هاما فى بداية انقسام الكروموسوم .

(٥) يلعب الغشاء الخلوى فى الكائنات ذوات النواه البدائية دورا هاما فى عمليات التنفس حيث أن الانزيمات المسئولة عن عملية التنفس مرتبطة مع الغشاء الخلوى للخلية .

(٦) فى الكائنات ذوات النواه البدائية الممثلة للضوء يقوم الغشاء الخلوى

بدور هام التمثيل الضوئي .

اختلاف وجهي الغشاء الخلوي للبكتيريا

لقد ثبت الآن أن وجهي الغشاء الخلوي للبكتيريا مختلفان . صحيح أن كلا الوجهين يتكون من الأجزاء المحبة للماء Hydrophilic — من جزيئات الفوسفوليبيدات إلا أن البروتينات الموجودة على السطح الداخلي للغشاء الخلوي تختلف عن البروتينات الموجودة على السطح الخارجي له وقد أمكن ملاحظة ذلك عن طريق فحوصات دقيقة بالمجهر الإلكتروني ، وبعد معاملات خاصة .

كما أنه أمكن حديثا دراسة وظائف الأغشية الخلوية عن طريق تحضير ما يعرف باسم المثانات الغشائية Membrane vesicles وهي عبارة عن تركيبات كروية تتكون عند تجزئ الغشاء الخلوي للبكتيريا بعناية تحت ظروف خاصة . فعند تجزئ الغشاء الخلوي تتكون أجزاء صغيرة مسطحة من الغشاء الخلوي لا تلبث أن تتحول الى تركيبات كروية الشكل . وبالطبع فإن هذه الكريات الصغيرة (المثانات) Vesicles يحتوى محيطها على الجزء الطارد للماء Hydrophobic و سطحها على الجزء المحب للماء Hydrophilic وتمتاز هذه الكرات بالقدرة على الالتصاق ببعضها بحيث تكون الأجزاء الطاردة للماء مجاورة لبعضها ، والأجزاء المحبة للماء تكون مجاورة لبعضها أيضا ، وهذا ليس غريبا نتيجة لوجود الروابط الطاردة للماء Hydrophobic bonding والروابط الأيونية Ionic bonding أما الغريب حقا فإن البروتينات التي كانت على السطح الخارجي فسي الغشاء الخلوي تتجمع في نفس الوجه على المثانات Vesicles المذكورة وكذلك الحال بالنسبة للبروتينات التي تتجمع على السطح الداخلي للغشاء فوجد أيضا أنها تتجمع على السطح الثاني .

وقد أمكن تكوين شبيهات الأغشية الخلوية من فوسفوليبيدات نقية وبروتينات للأغشية الخلوية لكائنات دقيقة مختلفة ، وتسمى هذه التركيبات Liposomes وأمكن بذلك دراسة مرور السكريات والعناصر الغذائية

المختلفة وكثير من الجزيئات عبر الأغشية الخلوية .

هذا وسنشير لانتقال العناصر الغذائية عبر الغشاء في الفصل
الحادى عشر . . .

الأغشية الداخلية : Internal membranes

علاوة على الغشاء الخلوى الذى يلى الجدار الخلوى من الداخل
يوجد غشاء آخر داخل هذا الغشاء فى كثير من ذوات النواه البدائية
يمكن رؤيته بواسطة المجهر الالكترونى .

وهذا الغشاء الآخر قد يكون مجرد ثنيات وبروزات من الغشاء
الخلوى الأصلى Cell membrane الذى سبق التحدث عنه ، أو قد يكون
أعقد من ذلك . فالغشاء الداخلى للبكتيريا التى تمثل الضوء Photosyn-
thetic bacteria (شكل ٩-٥) يقوم بتمثيل الضوء ، ويسمى لذلك
بالغشاء الممثل للضوء Photosynthetic membrane .

كما أن بكتيريا التآزت Nitrifying bacteria المسماة
نيتروزوكوكس أو شانس Nitrosococcus oceanus ونيتروباكتر وينوجرادسكى
Nitrobacter winogradski والبكتيريا المؤكسدة للميثان المسماة
ميثانوموناس ميثانو أوكسيدانز Methanomonas methanoxidans وميثايلو-
كوكس كابسويلاطس Methylococcus capsulatus كلها يظهر بها ثنيات
غشائية واضحة للغشاء الخلوى الداخلى تشبه تلك الموجودة فى البكتيريا
الممثلة للضوء ، ويعتقد أن هذه الثنيات هى موقع تثبيت النيتروجين أو موقع
أكسدة الميثان .

الميسوسومات : Mesosomes

وهى تركيبات معقدة مكونة من ثنيات غشائية داخلية ، وغالبا ما
توجد قرب موقع انقسام الخلية ، وربما تشارك فى تكوين الجدار العرضية
عند الانقسام ، وتتكون هذه الثنيات الغشائية بدرجات مختلفة فى عدد

من البكتيريا البنفسجية المثلثة للضوء وعدد كبير من البكتيريا غير المثلثة للضوء والتي تحتوى على مستوى عالى من النشاط التنفسى مثل البكتيريا المثبتة للنيتروجين Azotobacter وبكتيريا التأزت Nitrifying bacteria.

ومن المحتمل أن تكون الثنيات المتعددة للغشاء الخلوى المكونة للميسوسومات فى هذه الأنواع من الخلايا هى لايجاد المزيد من التركيبات الخلوية اللازمة لعمليات التنفس أو التمثيل الضوئى ، وخاصة وأن أنظمة التنفس والتمثيل الضوئى فى ذوات النواه البدائية تكون متمركزة فى الغشاء الخلوى .

وتختلف هذه الميسوسومات عن حوامل الألوان الملاحظة فى البكتيريا الخضراء المزرقه . فحوامل الألوان تلك عبارة عن أكياس غشائية مسطحة Thylakoids مخصصة يتم فيها التمثيل الضوئى .

ويمكن تلخيص وظائف الميسوسومات فى واحدة أو أكثر مما يلى :

- * المشاركة فى تكوين الجدر العرضية عند انقسام الخلية وبالتالى تتحكم فى الانقسام الخلوى .
- * القيام بدور خاص فى التنفس وإنتاج الطاقة .
- * القيام بدور خاص فى التمثيل الضوئى فى الكائنات المثلثة للضوء .

٢- البروتوبلازم

أهم المكونات الأساسية فى البروتوبلازم والتي توجد فى جميع الكائنات ذات النواه البدائية Procaryotes هى الريبوسومات Ribosomes والمنطقة النووية Nuclear region .

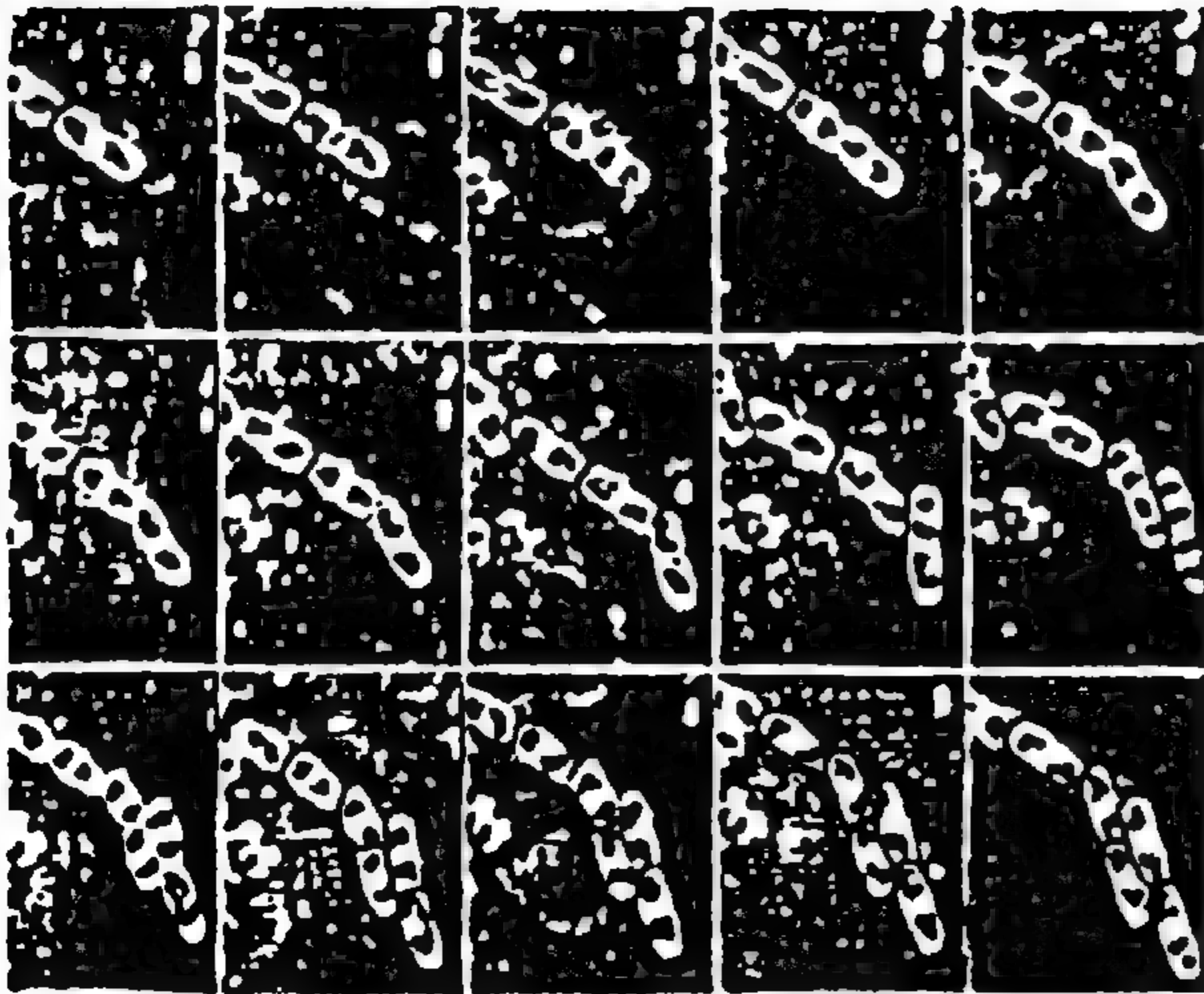
أ- الريبوسومات : Ribosomes :

الصور المأخوذة بالمجهر الالكترونى فى القطاعات الرقيقة فى البكتيريا تظهر جزيئات صغيرة قاتمة واضحة فى السيتوبلازم . وهذه

ثنيات الغشاء الداخلية
المستخدمة في
التمثيل الضوئي



شكل ١-٥ : صورة بالمجهر الالكتروني للغشاء الخلوي الداخلي
في البكتيريا الممثلة للضوء Anabaena azollae يوضح الثنيات
الداخلية Thylakoids والتي تلعب دورا هاما في تمثيل الضوء.
يوجد ثنيات مماثلة لهذه الثنيات في البلاستيدات الخضراء لخضوات
النواة الحقيقية .



شكل ١-٦ : مجموعة صور
مجهرية لانقسامات متتالية
لبكتيريا القولون E. coli
في محلول مركز من البروتين
لزيادة التمييز بين المنطقة
النوية وبقايا السيتوبلازم
حيث تظهر المنطقة النووية
قائمة والسيتوبلازم فاتح
اللون ، وقد انقضت فترة
٧٨ دقيقة من الصورة الاولى
الى الصورة الأخيرة (أى ٥ر٢
وقت جيلى ٠) . لاحظ
أن الخلايا تحتوى على ٢-٤
أنوية بدائية .

الجزئيات هي جزء من جهاز بناء البروتينات في الخلية وتسمى الريبوسومات. وذلك لأنها أجسام تحتوى على الحمض النووى المعروف باسم حمض الريبونيكليك (رن أ RNA) Ribonucleic acid بنسبة ٦٠٪ منها أما ال ٤٠٪ الأخرى من الريبوسومات فهي عبارة عن بروتينات ويميز الحمض النووى الموجود فى الريبوسومات عن غيره من أحماض الريبونيكليك بإضافة تعبير الريبوسومى فىسمى حمض الريبونيكليك الريبوسومى ribosomal RNA ويرمز له بالرمز ررنأ rRNA وقطر هذه الريبوسومات حوالى ٢٠ نانوميتر (النانوميتر = 10^{-9} متر) أو جزء مئتين مليون جزء من المليمتر) وهى تمثل حوالى ٤٠٪ من الوزن الجاف للخلية وسها حوالى ٩٠٪ من الحمض النووى رن أ الخاص بالخلية .

والريبوسومات الموجودة فى ذوات النواة البدائية Procaryotes أصغر قليلا عن تلك الريبوسومات الموجودة فى ذوات النواة الحقيقية Eucaryotes وأخف وزنا ، وينعكس ذلك على ما يعرف بثابت الترسيب Sedimentation constant (وهو معدل ترسيب الريبوسومات خلال سائل معين عند تعريضها لقوة طرد مركزية عالية) ووحدة ثابت الترسيب تسمى سيفدبرج Svedberg ويرمز لها عادة بالرمز (س) S . والريبوسومات فى ذوات النواة البدائية لها ثابت ترسيب = ٧٠ س (70 S) متميزة بذلك عن الريبوسومات فى ذوات النواة الحقيقية والتي لها ثابت ترسيب ٨٠ س (80 S) .

والريبوسومات البكتيرية تتكون من وحدتين صغيرتين عند انفصالهما ، فان ثابت الترسيب لهما يكون ٣٠ س ، ٥٠ س ، أما الريبوسومات فى الخلايا ذات النواة الحقيقية فتتكون من وحدتين لها ثابت ترسيب ٤٠ س ، ٦٠ س .

وتزداد كمية الريبوسومات كلما زاد معدل النمو . وتقل كلما قل معدل النمو . وقد يرتبط الحمض النووى المرسال مرنأ mRNA بالعديد من الريبوسومات أثناء عملية ترجمة المعلومات فى عملية بناء البروتين . ويسمى تجمع الريبوسومات بالحمض النووى المرسال باسم البولى

سومات (عديد الريبوسومات) Polysomes .

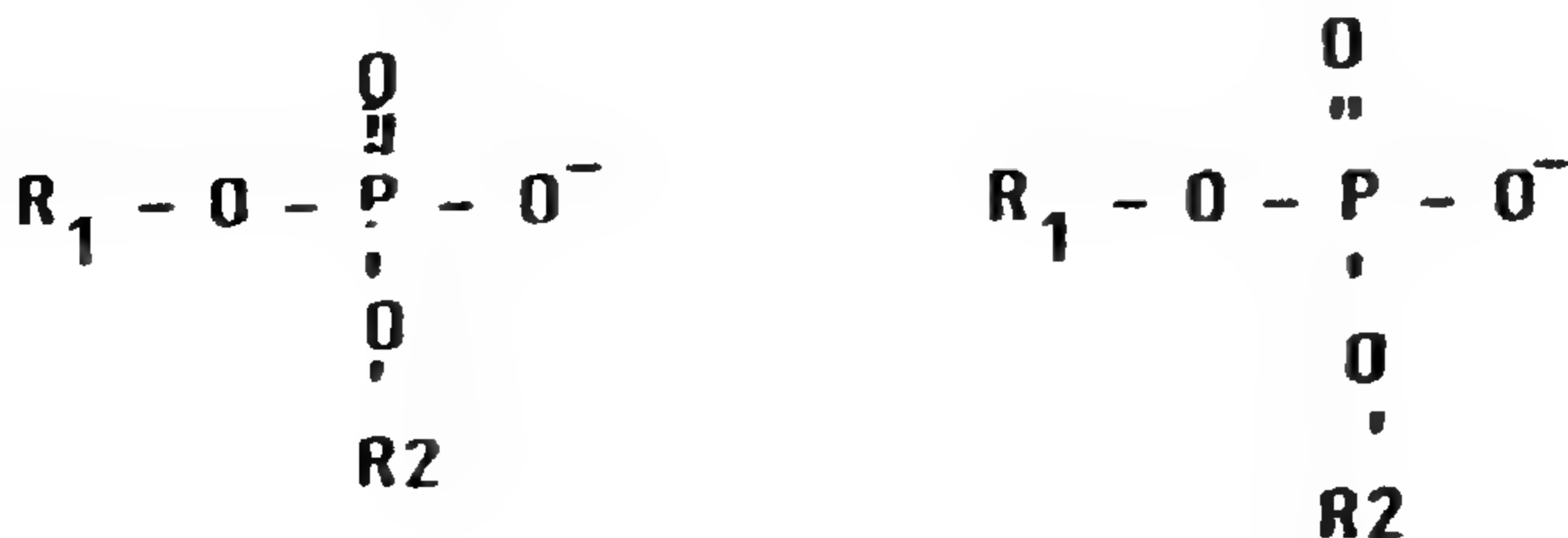
بـ النواة Nucleus أو المنطقة النووية Nuclear region:

تستخدم الصبغات القاعدية Basic dyes لصبغ الكروماتين فى ذوات النواة الحقيقية مميزة بذلك النواة عن باقى السيتوبلازم . عند استعمال هذا الصبغات القاعدية للتعرف على النواتق فى نوات النواة البدائية ، فان كثافة الصبغ تبدو متساوية فى معظم الخلايا البكتيرية دون تمييز للنواة . ويرجع ذلك لوجود الريبوسومات بكثرة فى الخلايا البكتيرية . وتحتوى الريبوسومات كما هو معروف على نسبة عالية من الحمض النووى رن أ RNA وهى توجد فى السيتوبلازم . ولذلك فانه يلزم التخلص من هذه الريبوسومات من السيتوبلازم لا مكان صبغ النواة بالصبغات القاعدية دون تدخل منها . ويمكن اجراء ذلك بمعاملة الخلايا بحمض الهيدروكلوريك أو انزيم الريبونيكليز RNase فيتحلل الحمض النووى رن أ (RNA) الريبوسومى . واجراء الصبغ بعد ذلك يظهر منطقة كثيفة اللون فى المركز ليس لها شكل منتظم فى الخلايا البكتيرية . ويوجد من هذه المناطق كثيفة اللون عدد يتراوح بين ٢ الى ٤ فى الخلايا النشطة النمو فى مرحلة النمو اللوغاريتمى شكل (٦-٩) . ويمكن مشاهدة نمو وانقسام الخلية تحت مجهر متباين الأطوار Phase contrast بشرط وضع البكتيريا فى وسط غذائى على الشريحة (على سبيل المثال محلول بروتين مركز) لزيادة التمييز بين السيتوبلازم والكروموسوم .

تتميز المنطقة النووية أو الجزء النووى Nuclear region فى الكائنات ذوات النواة البدائية بعدم وجود غشاء نووى Nuclear membrane كذلك الموجود فى الكائنات ذوات النواة الحقيقية Eucaryotes لذلك فان البكتيريا لا تحتوى على نواة حقيقية . وقد اعتبرت هذه الصفة (عدم وجود الغشاء النووى) فى البكتيريا سببا كافيا لفصل هذه الكائنات وتقسيمها فى مملكة منفصلة عن سائر الكائنات الأخرى التى تتميز بوجود الغشاء النووى .

وبدلاً من وجود نواة حقيقية فإن البكتيريا تحتوى على الحمض النووى دى أوكسى ريبونيكليك Deoxyribonucleic acid الذى يرمز له بالرمز دن أ DNA فى صورة عارية لا يفصله عن مكونات السيتوبلازم الأخرى أى أغشية . وجزئ دن أ الوحيد الذى يحمل كل الصفات الوراثية الخاصة بالخلية فى الكائنات ذات النواة الحقيقية هو عبارة عن حلقة مزدوجة السلسلة . ومقارنة بذلك فإن ذوات النواة الحقيقية Eucaryotes توجد المعلومات الوراثية فى عدد من جزيئات ال DNA المنفصلة عن بعضها ، وكل منها مرتبط بعدد من البروتينات مكوناً تركيباً معقداً يسمى الكروموسوم وتحاط كل الكروموسومات فى حالة عدم الانقسام بغشاء نووى يفصل هذه المواد الوراثية عن باقى مكونات السيتوبلازم .

ويصل طول جزئ دن أ DNA الموجود فى الكائنات ذات النواة البدائية Procaryotes عند فردة الى عدة مرات قدر طول الخلية التى استخلص منها . فمثلاً بينما يكون طول خلية *E. Coli* حوالى ٢ ميكرومتر نجد أن طول جزئ ال DNA المستخلص منها يصل ١٢٠٠ ميكرومتر ، وهذا يعنى أن ال DNA يوجد فى الخلية منشياً على بعضه ثنيات كثيرة جداً . ويحتوى جزئ دن أ الخاص ببكتيريا القولون على حوالى 10×5^6 من أزواج القواعد النيتروجينية المعروفة وهى (جوانين - سيتوزين - ثيمين - أدنين) وبذلك يصل وزنه الجزيئى الى حوالى 10×3^4 والحمض النووى دن أ DNA عبارة عن جزئ يحتوى على شحنة كهربية سالبة كبيرة حيث أن القواعد المتجاورة ترتبط عن طريق مجموعة فوسفات . وكل من هذه المجموعات تحمل مجموعة هيدروكسيل متأينة كما يلى :



وهذه الشحنة السالبة يجب أن تتعادل مع عدد مساو من الشحنات الموجبة للكاتيونات التي توجد ملازمة لجزيء دن أ DNA في ذوات النواة البدائية ، أما في ذوات النواة الحقيقية فإن تعادل الشحنات السالبة يتم بواسطة عدد كبير من البروتينات القاعدية (ذات الشحنة الموجبة) والتي تعرف باسم الهستونات Histones . لذلك فهذه الهستونات تميز كروموسومات ذوات النواة الحقيقية ولا توجد في ذوات النواة البدائية .

أهمية الكروموسوم في التكاثر وبناء بروتينات الخلية

تستطيع الخلية البكتيرية بناء عدة آلاف من أنواع مختلفة من البروتينات ، كلا منها يحتوى على حوالى ٢٠٠ حمض أميني مرتبين في ترتيب خاص ينتج عنه النشاط الحيوى لهذه البروتينات ، وفقد هذا الترتيب أو نقص حمض أميني واحد قد ينتج عنه فقد النشاط الحيوى الهام لهذه البروتينات . والمعلومات اللازمة لتوجيه بناء هذه البروتينات موجودة في ترتيب النيوكليوتيدات ترتيبا خاصا في الحمض النووى دن أ DNA . ومعظم الحمض النووى دن أ DNA البكتيرى يوجد في الكروموسوم . ولكن نسبة بسيطة من الحمض النووى دن أ يوجد في جزيئات أصغر كثيرا من الكروموسوم تسمى البلازميدات ، وهى تشمل بعض المعلومات الوراثية اللازمة لبناء بعض البروتينات الخلوية ، وسنشرحها بالتفصيل في جزأ لاحق من هذا الفصل .

وتتكون نسخة طبق الأصل من الكروموسوم بعملية تسمى التضاعف Replication عن طريق انفصال السلسلتين وتكوين السلسلة المكملية لكل منهما على النسخة الأصلية تمهيدا لانقسام الخلية الأم الى خليتين بنويتين (شكل ١١-٢) ، ويتم بذلك التأكد من استلام الخليتين البنويتين المعلومات اللازمة لبناء كافة البروتينات الخلوية في الخلية الأم .

أما نقل المعلومات الشفرية الموجودة في ترتيب القواعد النيتروجينية في الحمض النووى دن أ DNA وتوجيهها لبناء البروتينات المختلفة فتتم في عمليتين مختلفتين هما :

(١) نقل المعلومات الشفرية : Transcription

وفيها تنقل المعلومات الشفرية من احدى السلسلتين في الحمض النووى د ن أ الى .جزئى من الحمض النووى ر ن أ يسمى حمض الريبونيوكلليك المرسال Messenger RNA ويرمز له بالرمز م ر ن أ mRNA ، ويتكون الحمض النووى م ر ن أ على احدى سلسلتى الحمض النووى د ن أ كسلسلة مكملة ناسخا للمعلومات منها بواسطة انزيم خاص يسمى RNA Polymerase .

(٢) ترجمة المعلومات الشفرية Translation

وفيها تترجم المعلومات الشفرية الموجودة على الحمض النووى م . ر ن أ بواسطة الريبوسومات بواسطة نوع ثانى من حمض الريبونيوكلليك يسمى حمض الريبونيوكلليك الناقل Transfer RNA ويرمز له بالرمز ت ر ن أ tRNA الى بروتينات ، وينبغى الاشارة هنا الى أن الريبوسومات تحتوى على نوع ثالث من حمض الريبونيوكلليك يسمى حمض الريبونيوكلليك الريبوسومى Ribosomal RNA ويرمز له بالرمز ر ر ن أ rRNA أما جزيئات ت ر ن أ فيوجد منها أنواع عديدة ، وكل نوع منها متخصص لحمض أمينى معين يرتبط به . كما يستطيع كل نوع من أنواع ت ر ن أ التعرف على شفرة معينة فى م ر ن أ عند وجودها مع الريبوسومات (جدول ٩-١) لذلك فالحمض النووى ت ر ن أ الحامل لحمض أمينى معين (أ) يرتبط بالريبوسومات المرتبطة بالحمض النووى م ر ن أ فى موقع الشفرة الخاصة بالحمض الأمينى (أ) وينقل هذا الحمض الأمينى الى الريبوسومات التى ترتبها فى سلسلة وفقا لترتيب الشفرات على الحمض النووى م ر ن أ (شكل ٩-٧) .

ثانياً : المكونات غير الأساسية Variant components

١. الجدار الخلوى

هو أحد المكونات الهامة فى بناء الخلايا ذات النواة البدائية ،

ويعزى اليه الشكل المميز للخلية نتيجة لصلابته والمجموعة الوحيدة التى ليس لها جدار خلوى هى الميكوبلازما *Mycoplasma* . والتركيب الكيميائى للجدار الخلوى لخلايا البكتيريا يختلف بصفة عامة عن الجدار الخلوى للخلايا ذات النواة الحقيقية كخلايا النبات .

لذلك يعتمد أحيانا على التركيب الكيميائى للجدار الخلوى لكائن ما لمعرفة ما اذا كان ينتمى الى الكائنات ذات النواة البدائية أو الكائنات ذات النواة الحقيقية .

وكثيرا ما يصعب رؤية الجدار الخلوى بالمجهر الضوئى ، ولكن يمكن رؤيته بوضوح فى القطاعات الرقيقة للخلايا عند فحصها بالمجهر الالىكترونى . وتختلف البكتيريا الموجبة لصبغة جرام عن البكتيريا السالبة لصبغة جرام فى بناء الجدار الخلوى لكل منهما كما هو موضح فى الصور المأخوذة بالمجهر الالىكترونى والمثلة برسم توضيحى فى الشكل (٩-٨) . فالبكتيريا السالبة لصبغة جرام لها جدار خلوى معقد التركيب مكون مبرز عدة طبقات ، بينما الجدار الخلوى فى البكتيريا الموجبة لصبغة جرام عادة ما يتكون من طبقة واحدة وعادة أكثر سمكا من مثيله فى البكتيريا السالبة لصبغة جرام .

الطبقة الصلبة فى كل من البكتيريا السالبة والموجبة لصبغة جرام ذات تركيب كيمائى متشابه جدا وتسمى الببتيدوجليكان *Peptidoglycane* وقد تسمى أحيانا ميورين *Murain* أو ميوكوببتيد *Mucopeptide* ولكن الببتيدوجليكان هو الاسم الأكثر شيوعا الآن وقد اندثر الاسمان الآخران ، والببتيدوجليكان موجود فى جميع الكائنات ذات النواة البدائية التى تكون جدارا خلويا فيما عدا البكتيريا التابعة للجنسين *Halobacterium* و *Halococcus* وهذه البكتيريا من النوع الذى يتطلب تركيزا عاليا من الملح بصفة اجبارية *Extreme halophiles* فى البيئة ، ولذلك فوجود جدار خلوى صلب ليس ضروريا لها . ولا يحتوى الجدار الخلوى لأى من الكائنات ذات النواة الحقيقية على هذه المادة (الببتيدوجليكان) .

الشفرة الوراثية							
FIRST LETTER	SECOND LETTERS						
	U	C	A	G			
U	UUU phe	UCU ser	UAU tyr	UGU cys			
	UUC phe	UCC ser	UAC tyr	UGC cys			
	UUA leu	UCA ser	UAA (none)	UGA (none)			
	UUG leu	UCG ser	UAG (none)	UGG try			
C	CUU leu	CCU pro	CAU his	CGU arg			
	CUC leu	CCC pro	CAC his	CGC arg			
	CUA leu	CCA pro	CAA glu-N	CGA arg			
	CUG leu	CCG pro	CAG glu-N	CGG arg			
A	AUU ileu	ACU thr	AAU asp-N	AGU ser			
	AUC ileu	ACC thr	AAC asp-N	AGC ser			
	AUA ileu	ACA thr	AAA lys	AGA arg			
	AUG met	ACG thr	AAG lys	AGG arg			
G	GUU val	GCU ala	GAU asp	GGU gly			
	GUC val	GCC ala	GAC asp	GGC gly			
	GUA val	GCA ala	GAA glu	GGA gly			
	GUG val	GCG ala	GAG glu	GGG gly			

جدول ١٩-١ : الشفرة الوراثية المستخدمة في بناء البروتينات المختلفة
 ... وقد استخدمت الرموز الانجليزية للسهولة .

— رمز للأحماض الأمينية بالأحرف الثلاثة الأولى من اسمها باللغة

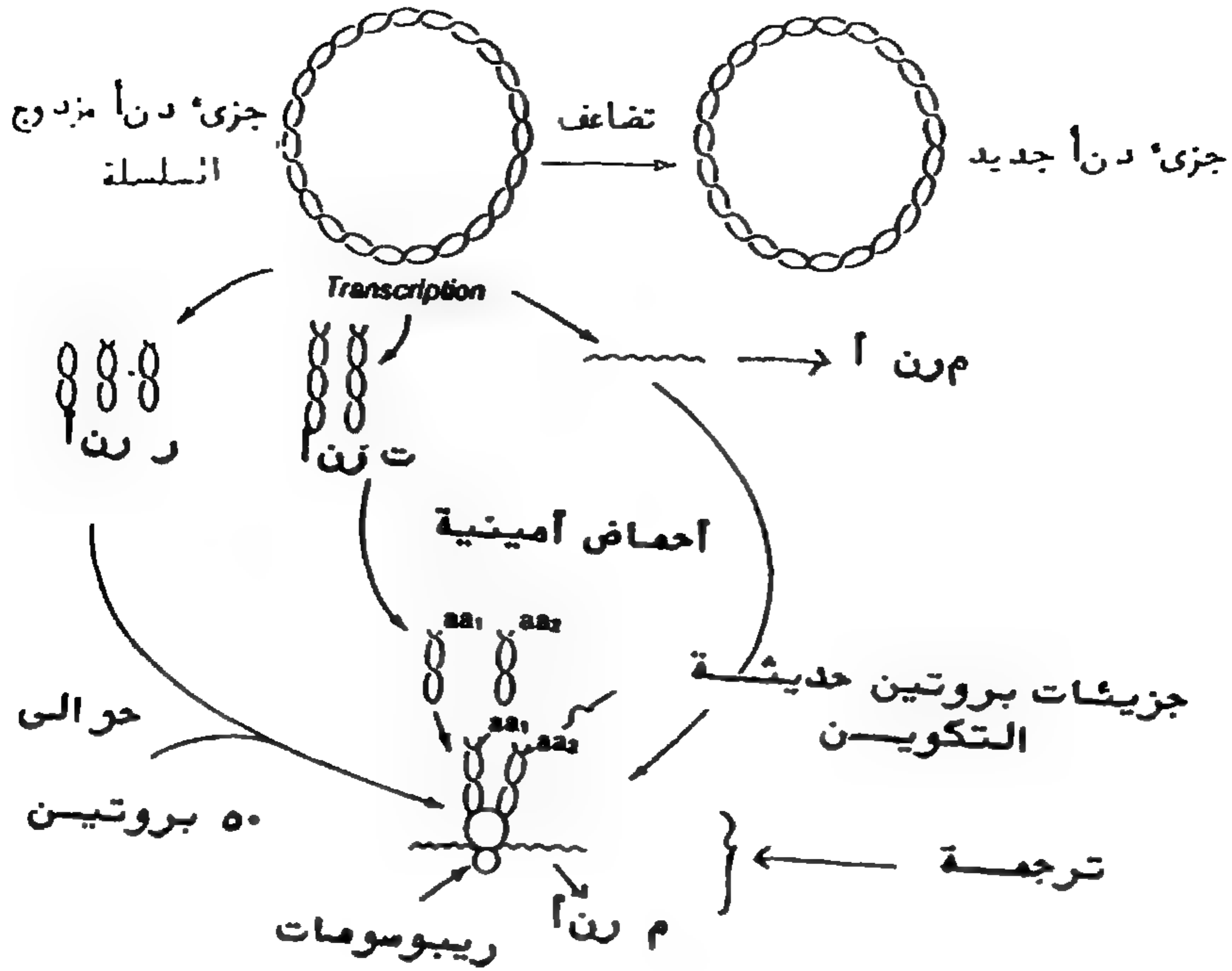
الانجليزية فيما عدا جلوتامين glu-N اسبراجين asp-N

ايزوليوسين ileu

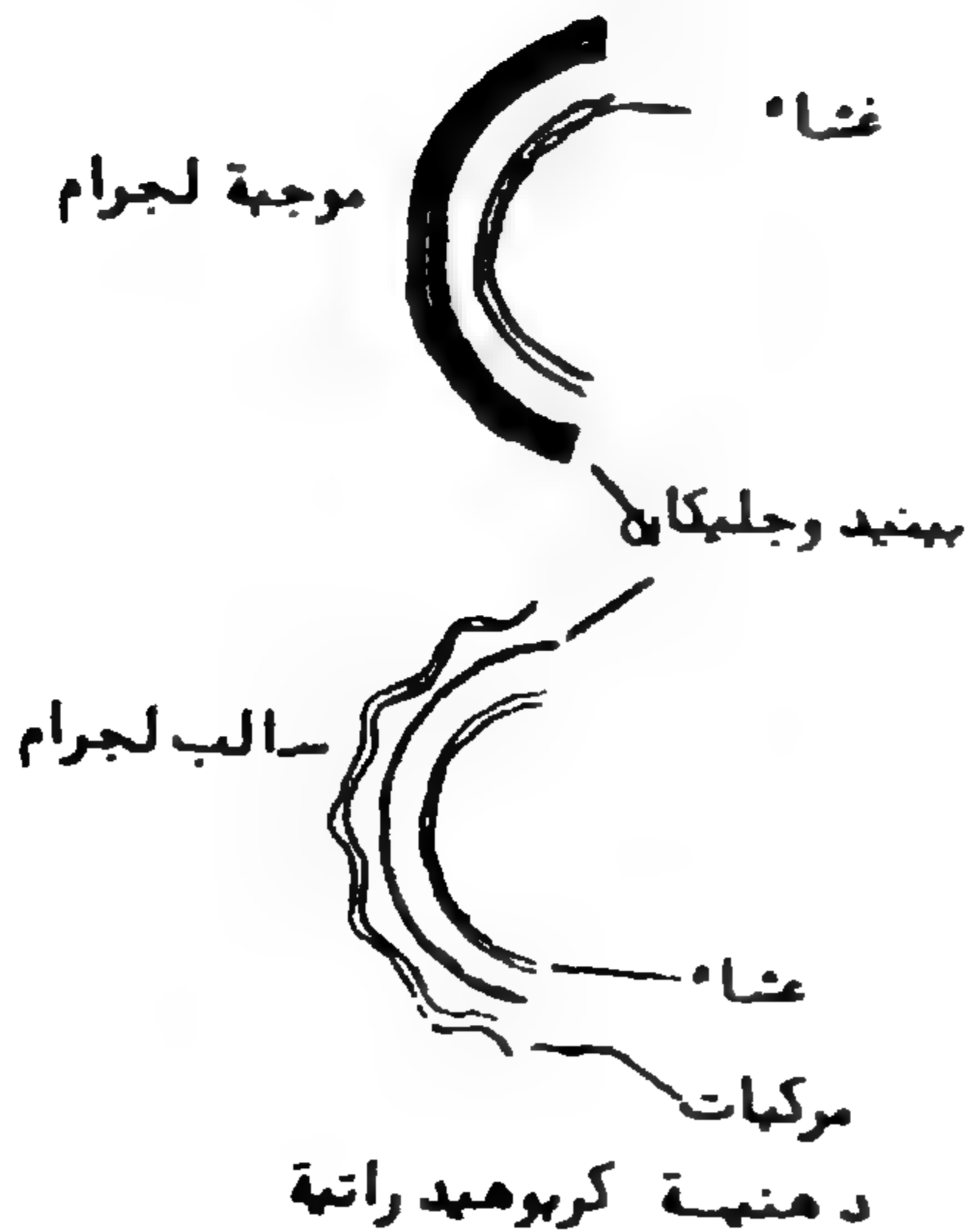
— الشفرات UAG ، UGA ، UAA هي شفرات لا تعنى

أى شىء وجودها يؤدي الى انتهاء السلسلة الببتيدية عندما تصل اليها الريبوسومات .

والشفرة تقرأ بالحروف الأولى للقواعد النيتروجينية الأربعة
 المعروفة في الحمض النووي رنأ جوانين (G) أدنين (A) يوراسيل
 (U) وسيتوزين (C)



شكل ٩-٧: رسم تخطيطي يوضح أهمية الكروموسوم في بناء الأحماض النووية والبروتينات



شكل ٩-٨: رسم تخطيطي للمقارنة بين الجدار الخلوي في كلا من البكتيريا الموجبة والسالبة لصبغة جرام حيث توجد طبقة سميكة من مادة الببتيد وجليكان في الموجبة لجرام. بينما تكون هذه المادة طبقة رقيقة جدا في البكتيريا السالبة لصبغة جرام.

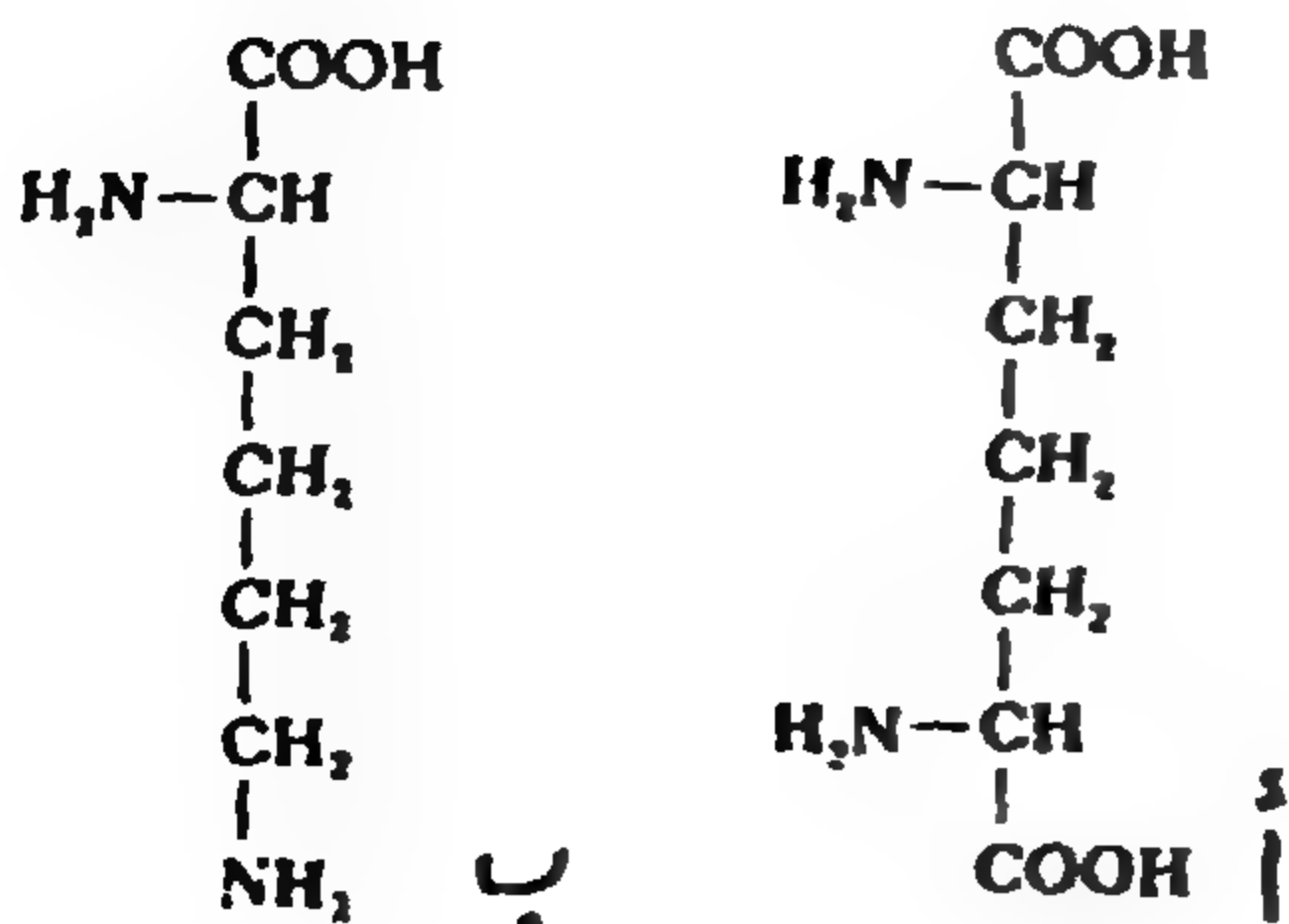
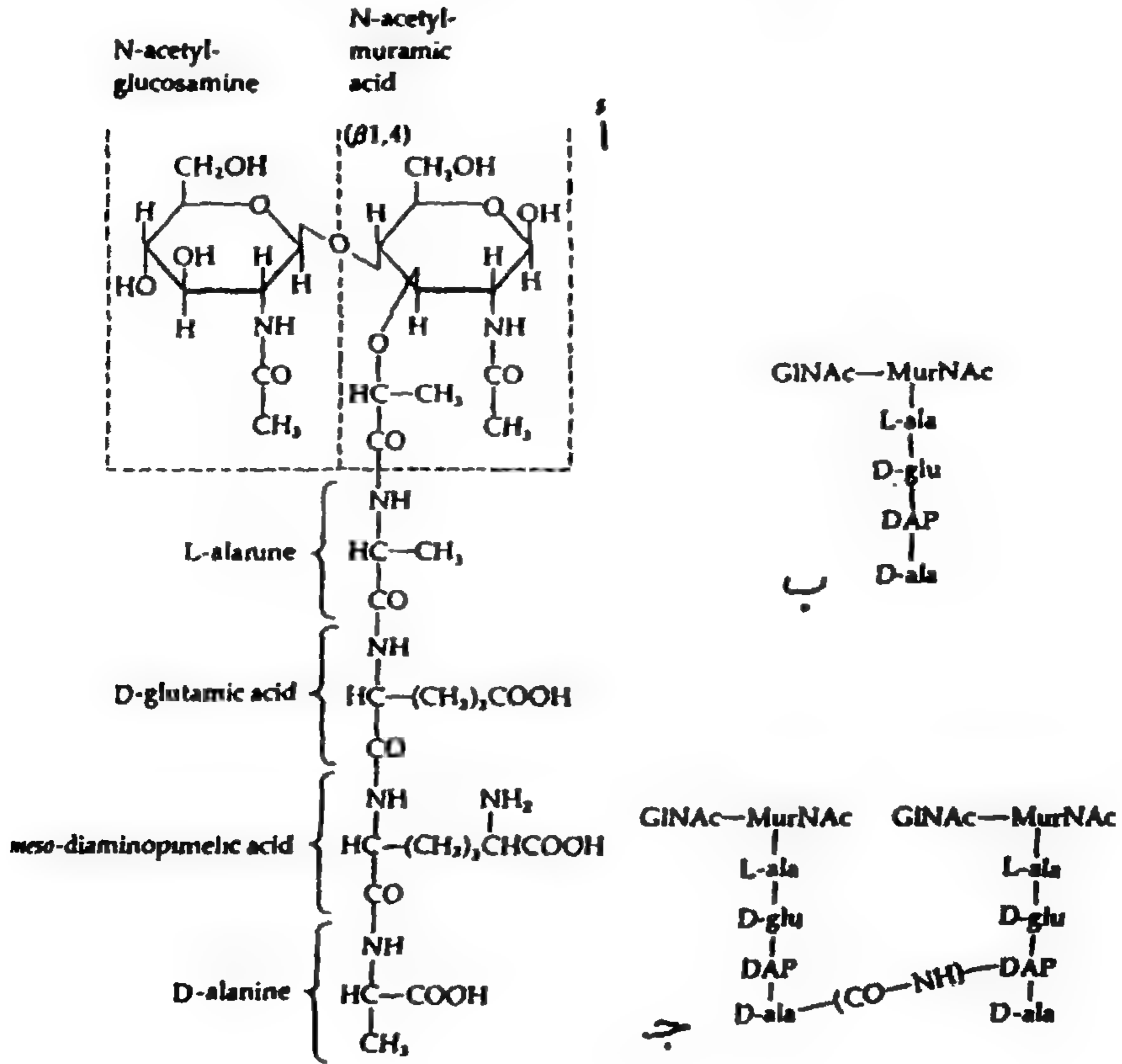
والبيتيد وجليكان مركب معقد ناتج عن تكثف Polymer نوعين من السكريات الأمينية الأستيلية Acetylated Aminosugars وجلوكوز أمين N-acetylglucosamine ، ن - أستيل حمض الميوراميك N-Acetylmuramic acid وعددا صغيرا من الأحماض الأمينية . كما تتميز هذه المادة (البيتيد وجليكان) باحتوائها على أحماض أمينية غير موجودة في الطبيعة بمعنى أن تلك الأحماض الأمينية لم يكشف عن وجودها قط في أى من البروتينات وذلك لوجودها في صورة المشابه الضوئى (D-Configuration) وليس في صورة المشابه الضوئى L (L-configuration) الشائعة الانتشار في الطبيعة (شكل ١-٦) . ويكون السكرين الأمين السلسلة الأساسية للبيتيد وجليكان N-Acetyl glucosamine (G) ، N-acetylmuramic acid (M) متبادلين ومرتبطين برابطة من نوع بيتا ١-٤ (β 1-4) (شكل ١-٩) وكل جزئ بيتيد وجليكان يحتوى على ١٠-٦٥ جزئ سكر ثنائى . كما يوضح الشكل (١٠-٩) التركيب البنائى للحامض الأمينى Diaminopimelic acid (DAP) . مقارنة بالتركيب البنائى للحامض الأمينى Lysine . ويوضح الشكل (١١-٩) التركيب البنائى لمادة البيتيد وجليكان المعقدة بعد تكثف السكريات الثنائية المبينة في شكل (٩-٩) وكما هو واضح فان مجموعة الكربوكسيل في حمض الميوراميك Muramic acid تحمّل سلسلة من أربعة أحماض أمينية هي كالآتى :

L - alanine D - glutamic acid L-diaminopimelic acid (DAP)

D - alanine - COOH

وهذا هو أكثر الترتيبات شيوعا في ترتيب الأحماض الأمينية . ومن الملاحظ أن الأحماض الأمينية ذات المشابه الضوئى D تتبادل مع الأحماض الأمينية ذات المشابه الضوئى L . كما تتشابك السلاسل البيتيدية بقناطر (بروابط عرضية) Cross-linkage بواسطة روابط بيتيدية Peptide bonds بين أصل D-alanine في الوضع رقم (٤) من السلسلة مع DAP في سلسلة أخرى (شكل ٩-٩) . وهذين النوعين من الروابط (الرابطة الجلوكوسيدية Glycosidic bonds والرابطة البيتيدية Peptide bonds) معا يحفظان ثبات الجزيء الكبير للبيتيد وجليكان مكونا شبكة جزيئية دقيقة شبيهة بكيس القماش ذو أبعاد كبيرة جدا مقارنة بالجزئيات الحيوية الأخرى . وهذا الجزيء يتشكل

- شكل ٩-١ : التركيب العام للبيتيد وجليكان :
- أ - وحدة بنائية كاملة توضح الروابط بين السكريات الأمينية التي تشكل السلسلة الأساسية في جزيء البيتيد وجليكان والروابط بين حمض الميوراميك والأحماض الأمينية .
- ب - رسم توضيحي مبسط للتركيب الموضح في أ .
- ج - رسم توضيحي للروابط بين السلاسل البيتيدية Cross linkage



- شكل ٩-١٠ : التركيب البنائي
- أ - للحامض الأميني داي أمينو بيمليك DAP
- ب - الحامض الأميني لايسين للمقارنة .

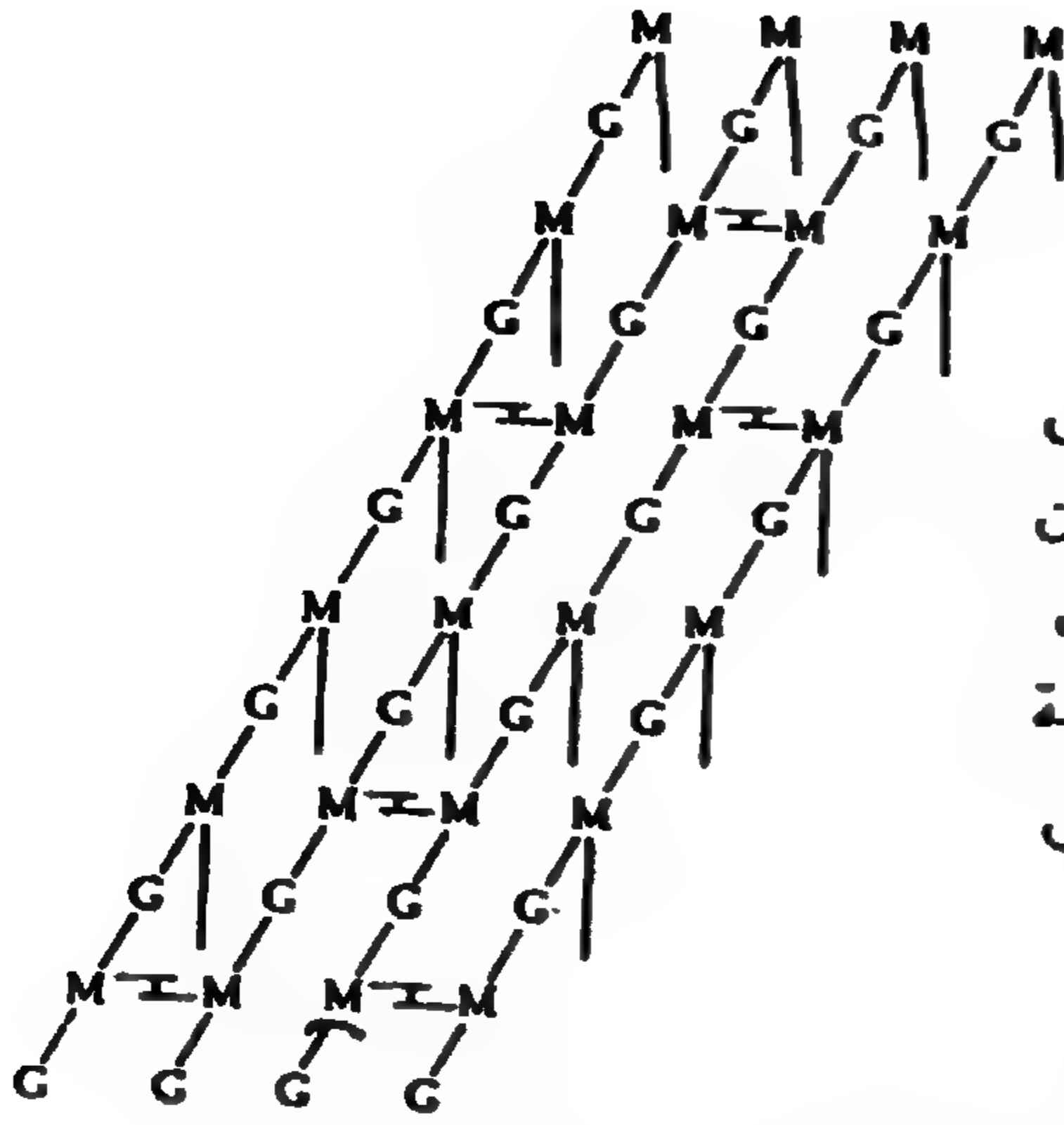
على صورة كيس يحتوى بداخله على البروتوبلاست Protoplast ونظرا لصلابة تركيب هذه المادة (الببتيد وجليكان) فان الخلية تأخذ شكلها منه ، كما أن هذه الشبكة الجزيئية تحمي الخلية من الانفجار في الوسط المائي أو الأوساط ذات الضغط الأسموزي الأقل من الضغط الأسموزي للسيتوبلازم .

التركيب الموضح في الشكل (٩-٩) هو الأكثر شيوعا في جدر خلايا البكتيريا فهو موجود في كل البكتيريا السالبة لصبغة جرام وعدد كبير من البكتيريا الموجبة لصبغة جرام . ولكن يوجد حالات محدودة تختلف عن هذا الترتيب خاصة في البكتيريا الموجبة لصبغة جرام حيث يحل أحماض أمينية ثنائية الأمين Diamino acid محل (DAP) كما أن طول السلسلة الببتيدية في حمض الميوراميك قد تختلف أيضا وكذلك تختلف القنطرة الببتيدية المتكونة بين سلسلتين متجاورتين عن طريق رابطة القنطرة Cross-linkage . وفي الوقت الحالي يعتبر التركيب البنائي الأول للببتيد وجليكان صفة تقسيمية هامة ضمن البكتيريا الموجبة لصبغة جرام . أما في البكتيريا السالبة لصبغة جرام فان ترتيب الأحماض الأمينية المذكور في شكل (٩-٩) شائع جدا ، ولا يشذ عنه إلا بكتيريا الاسبيروكيeta حيث يحل الأورنثين L-ornithine محل الحمض الأميني العدداي أمينوبيميلك (DAP) .

موقع الببتيد وجليكان في الجدار الخلوي :

١- البكتيريا السالبة لصبغة جرام :

تحتوي الجدر الخلوية للبكتيريا السالبة لصبغة جرام على نسبة منخفضة نسبيا من الببتيد وجليكان ، وتتراوح هذه النسبة بين ٥-١٠ % من وزن الجدر الخلوية ونادرا ما تزيد عن ١٠ % . وتقع هذه الطبقة بقدر الغشاء الخلوي مباشرة فهي أول طبقات الجدار الخلوي من الداخل في هذا النوع من البكتيريا ، ويمكن عزلها على هيئة كيس رقيق يحتوى بداخله على مكونات الخلية الأساسية بعد إزالة الطبقات الأخرى من



شكل ٩-١١ : رسم توضيحي للشبكة التي تتكون من تشابك سلاسل الببتيد وجليكان لتكوين الكيس الصلب للجدار الخلوي الذي يحتفظ بداخله بمكونات الخلية

M ترمز لحامض الميوراميك الأستيلي
N-acetyl muranic acid

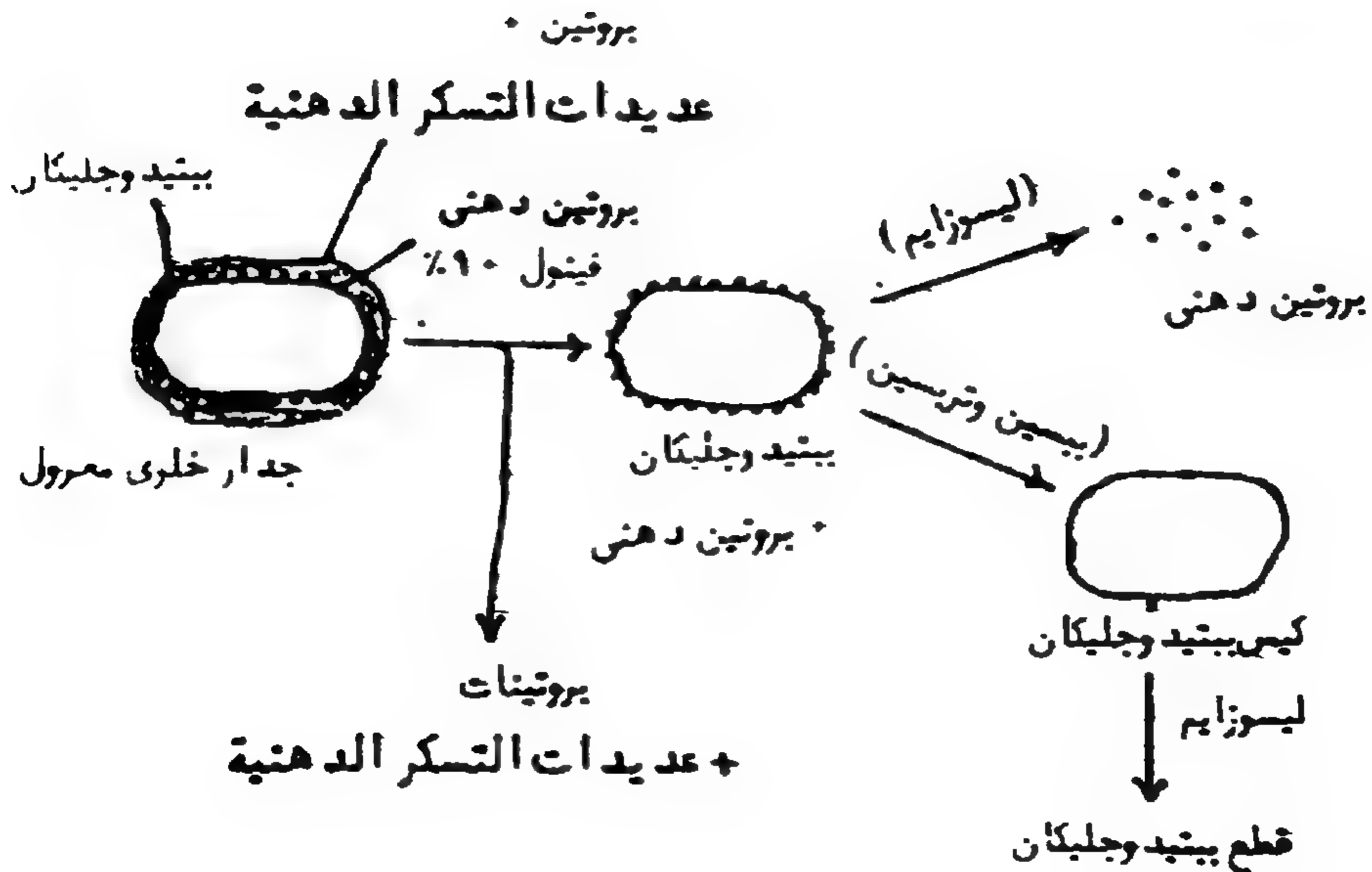
G ترمز لـ N-acetyl glucosamine

مرتبطة برابطة جلوكوسيدية β -1-4

الخطوط الرأسية تمثل سلاسل ببتيدية من أربعة أحماض أمينية ، أما

الرمز — ترمز الى الروابط بين السلاسل. Cross-linkage

شكل ٢-١٢ : رسم توضيحي للخطوات المختلفة لتجزئ* الجدار الخلوي الى مكوناته.



الجدار الخلوى بالطرق المناسبة التى لا تؤدى الى تحطيم طبقة الببتيدوجليكان (شكل ٩-١٢) .

ويحتوى الببتيدوجليكان الخاص بالبكتيريا السالبة لجرام على درجة منخفضة من الروابط القنطرية (الروابط العرضية) Cross-linkage وعدد كبير من السلاسل الببتيدية غير مرتبطة ، كما يشاهد فى الشكل (٩-١١) كما أن سمك طبقة الببتيدوجليكان فى هذه البكتيريا رقيقة جدا ، وأوضحت الحسابات التى أجريت على أن كمية الببتيدوجليكان الموجودة فى العديد من البكتيريا السالبة لصبغة جرام لا تزيد عن طبقة جزيئية واحدة Monomolecular layer أو على الأكثر طبقتين جزيئيتين .

خارج كيس الببتيدوجليكان المذكور يوجد طبقة جدار خلوى خارجية لها نفس السمك والتركيب البنائى الذى للغشاء الخلوى Unit membrane . لذلك فان فصل هذه الطبقة الخارجية (أحيانا يطلق عليه فصل الغشاء الخارجى Outer membrane) عن الغشاء الخلوى الأسمى أحيانا يمثل صعوبة واضحة .

وتتكون هذه الطبقة من بروتينات وفوسفوليبيدات Phospholipids وعديدات السكر الدهنية Lipopolysaccharides .

أما الفوسفوليبيدات فهى شبيهة تماما بتلك الموجودة فى الغشاء الخلوى ، أما البروتينات فهى على درجة كبيرة من الاختلاف (ان لم يكن الاختلاف كليا) عن تلك الموجودة فى الغشاء الخلوى . أما عديدات السكر الدهنية Lipopolysaccharides فهى أحد المكونات الأساسية للطبقة الخارجية من الجدار الخلوى لمعظم البكتيريا السالبة لصبغة جرام ان لم يكن كلها ، وهى مركبات شديدة التعقيد ، ووزنها الجزيئى يزيد على ١٠٠٠٠٠ كما أن تركيبها الكيميائى يختلف بكثرة بين أنواع البكتيريا المختلفة السالبة لصبغة جرام .

عديدات السكر الدهنية هذه تعتبر هى المركبات الأنتيجينية Antigenic الأساسية فى الخلية ، والتى يفرز ضدها الأجسام المضادة Antibodies . ويمكن استخدام المركبات عديدة السكر الدهنية

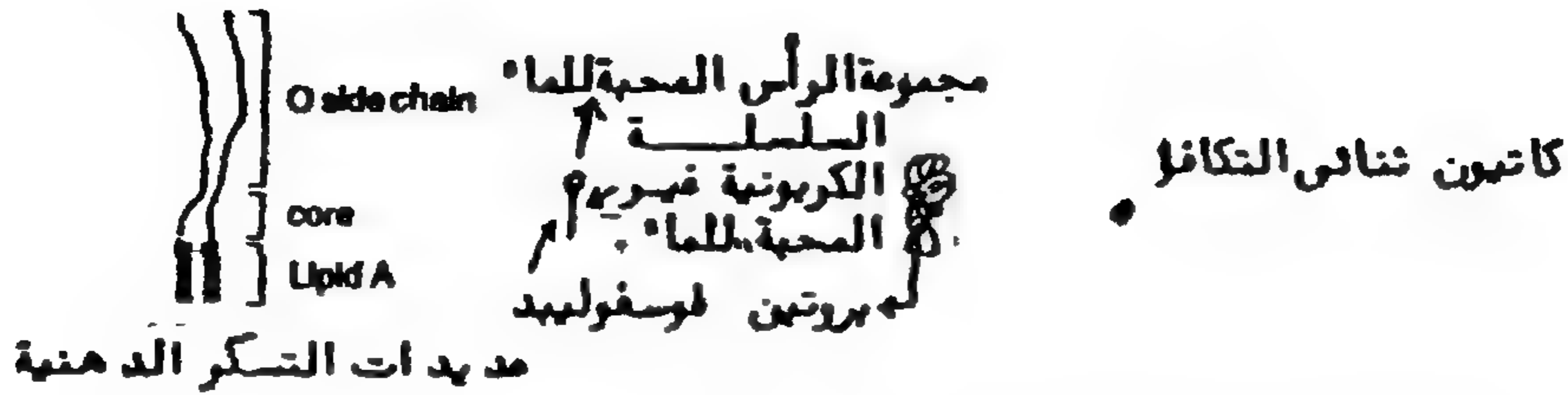
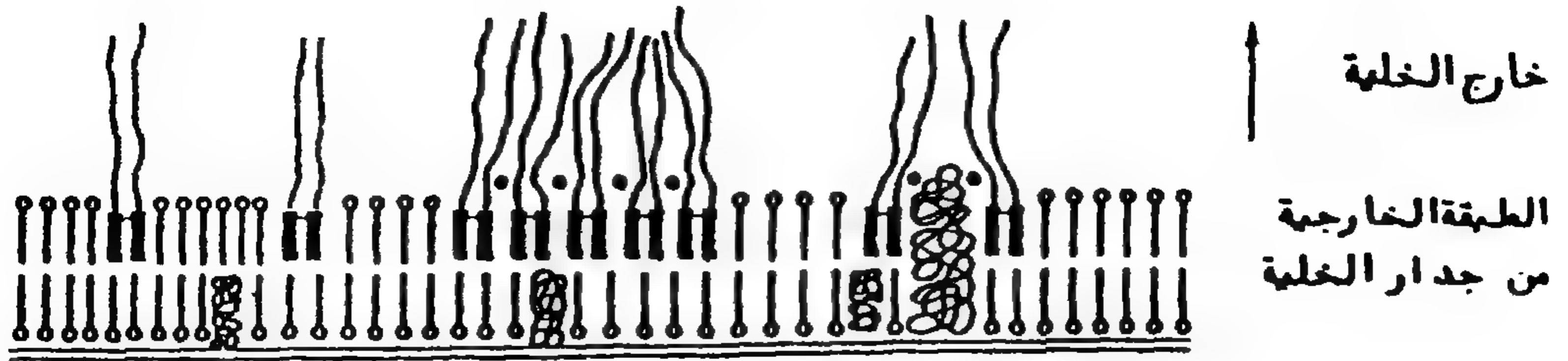
لبكتيريا معينة بعد فصلها من الجدار الخلوى وحقنها فى الحيوانات
لانتاج الأجسام المضادة Antibodies اللازمة لتحسين هـ
الحيوانات ضد البكتيريا المأخوذة منها عديدات التسكر الدهنية .

كما أن عديدات التسكر الدهنية فى بكتيريا معينة تعمل كمرکز
استقبال للفيروسات البكتيرية التى تصيب هذه البكتيريا . وقد وجد أن
الفيروسات البكتيرية Bacteriophages تمتاز (تدمص) على سطح
عديدات التسكر الدهنية المفصلة من الجدار الخلوى ، إذا كان الفيروس
من النوع الذى يهاجم ذلك النوع من البكتيريا الذى فصلت منه عديدات
التسكر الدهنية . لذلك فإن هذه المواد عديده التسكر الدهنية لا بد
وأن يكون موقعها على السطح الخارجى للخلية حتى تمتاز (تدمص)
الفيروسات المتخصصة . وقد اقترح Nikkaido الرسم التوضيحى
المبين فى شكل (٩-١٣) للطبقة الخارجية من الجدار الخلوى وهى كما
يلاحظ تشبه الى حد كبير الغشاء الخلوى .

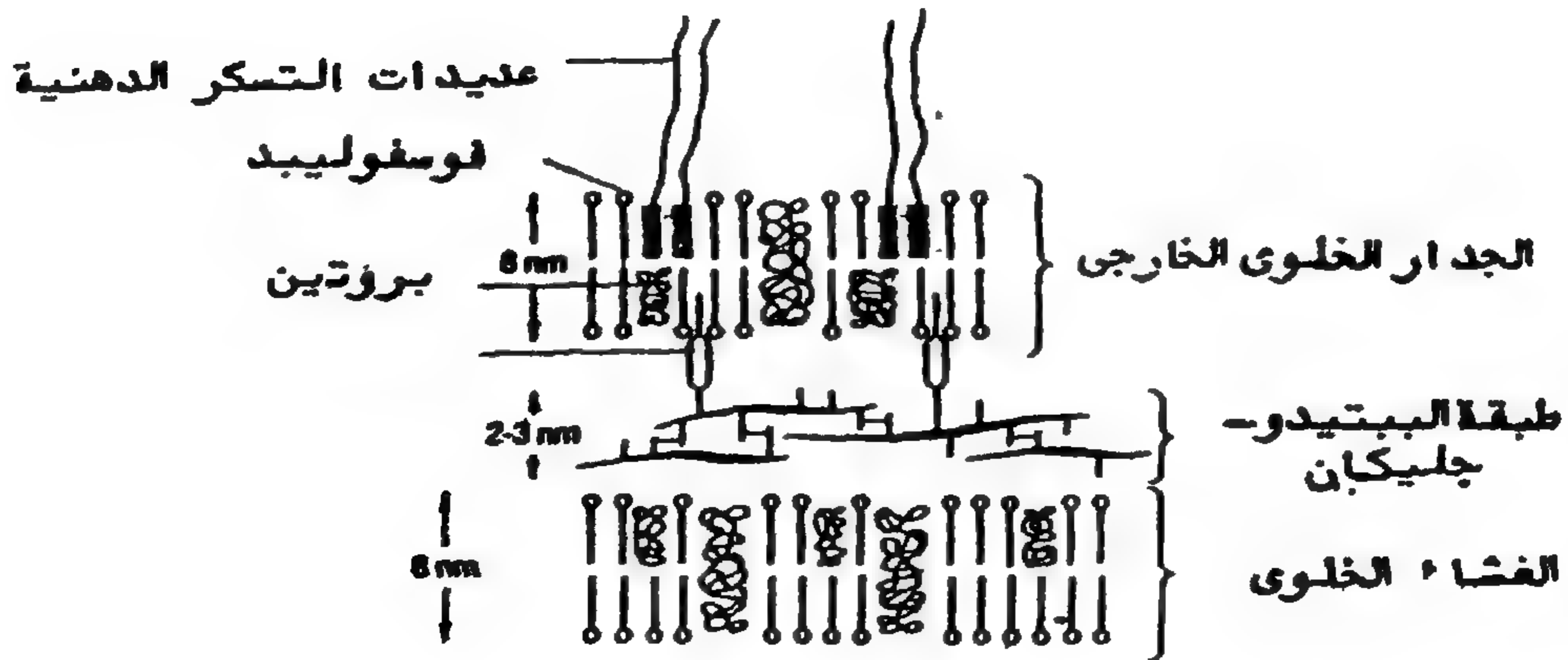
وفى مجموعة بكتيريا القولون (وربما فى كل البكتيريا السالبة لصبغة
جرام) وجد أن طبقة الببتيد وجليكان تحمل نوعا خاصا من البروتينات
الدهنية Lipoprotein على سطحها الخارجى . وهذه البروتينات
الدهنية مرتبطة برابطة ببتيدية مع الحمض الأمينى داي أمينويليليك
الموجود فى شبكة الببتيد وجليكان . وتمتد هذه البروتينات الدهنية
للخارج لتربط بين طبقة الببتيد وجليكان وطبقة الجدار الخلوى الخارجية .
ويوضح الرسم التخطيطى فى الشكل (٩-١٤) نموذج لتركيب الجدار
والغشاء الخلويين وعلاقتهما ببعضهما .

٢- البكتيريا الموجبة لصبغة جرام :

يشكل الببتيد وجليكان Peptidoglycane حوالى ٤٠ الى ٩٠ ٪ من
الوزن الجاف للجدار الخلوى . ويعتبر الجدار الخلوى ذو تركيب أكثر
تجانسا عن مثيله فى البكتيريا السالبة لصبغة جرام . كما أن الجدار
الخلوى أكثر سمكا (١٠-٥٠ نانومتر) عن طبقة الببتيد وجليكان فى



شكل ٩-١٣ : تصور ممكن لترتيب المكونات الأساسية للطبقات الخارجية من الجدار الخلوي في البكتيريا سالبة لصبغة جرام. LPS = عديدات السكر الدهنية.



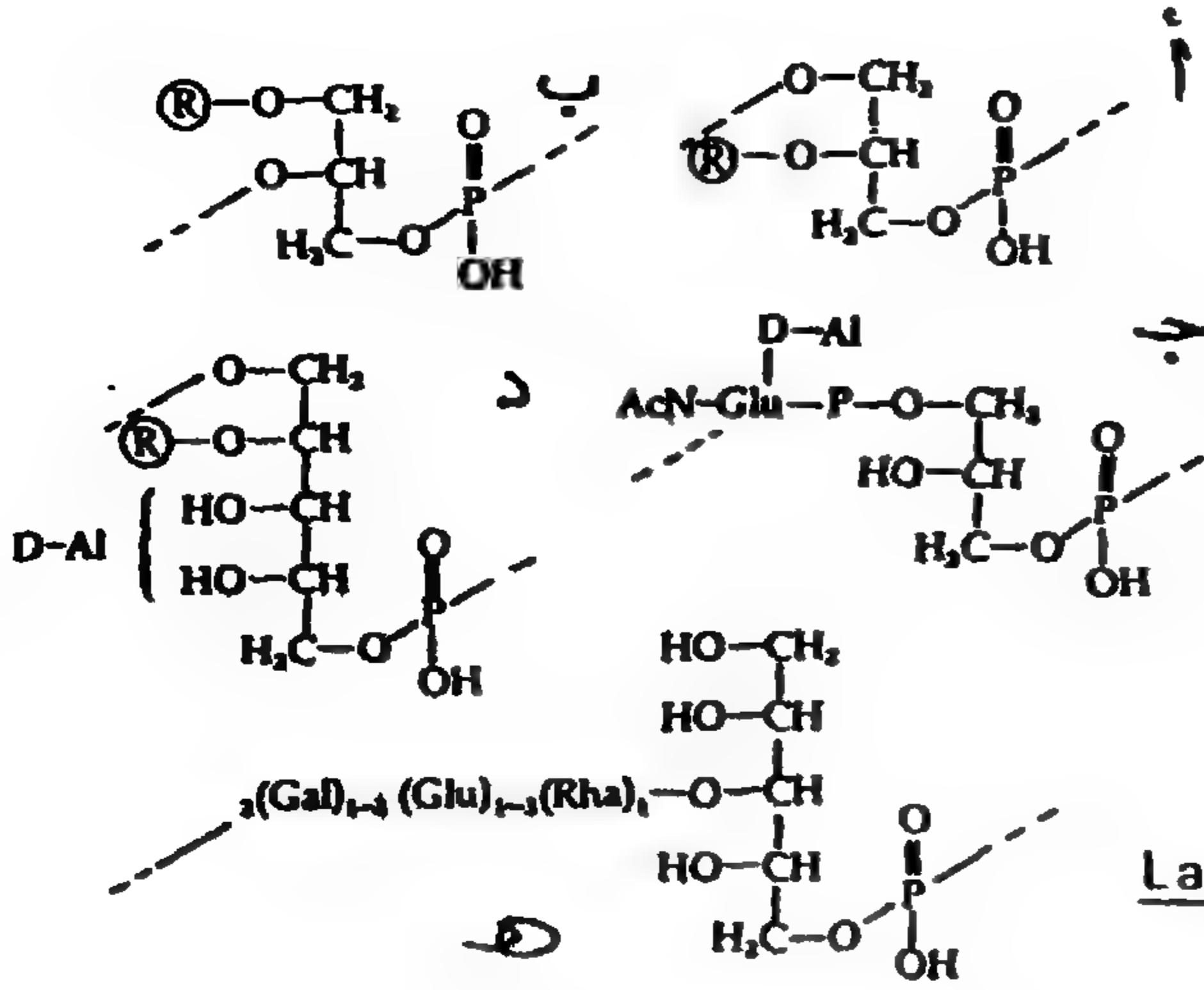
شكل ٩-١٤ : رسم توضيحي يوضح العلاقة بين الغشاء الخلوي والطبقة الداخلية والخارجية من الجدار الخلوي في البكتيريا سالبة لصبغة جرام.

البكتيريا السالبة لصبغة جرام ، وكما سبق أن ذكرنا فإن التركيب البنائى لطبقة الببتيد وجليكان فى البكتيريا الموجبة لصبغة جرام على درجة من الاختلاف بالدرجة التى تمكن من استخدام هذه الصفة كوسيلة تقسيمية . كما أن شبكة الببتيد وجليكان مرتبطة بروابط مختلفة مع الجزيئات الكبيرة Macromolecules الأخرى المكونة للجدار الخلوى ، وتشتمل هذه الجزيئات الكبيرة على عدد من المركبات عديدة السكر Polysaccharides وعديدات الهيدروكسيل المفقسرة Polyol Phosphate Polymers المعروفة باسم أحماض التيكويك Teichoic acid .

وأحماض التيكويك عبارة عن مركبات قابلة للذوبان فى الماء ، تحتوى على بقايا الريبيتول Ribitol أو الجليسرول Glycerol مرتبطـة برابطة الاستر التثائية للفوسفور Phosphodiester bond كما هو موضح فى الشكل (٩-١٥) .

وموقع حمض التيكويك فى الجدار الخلوى غير معروف على وجه التأكيد ، ولكن أجزاء منه تنفصل دائما مع الجدار الخلوى مرتبطا مع حمض السيورااميك ، بينما يمكن فصل أجزاء منه مع الغشاء الخلوى ، وهذا الأخير يسمى " حمض تيكويك الغشاء " membrane teichoic acid أو Lipoteichoic acid ويوجد مرتبطا مع الليبيدات Glycolipid الخاصة بالغشاء الخلوى .

ويشكل حمض التيكويك Teichoic acid أهمية خاصة من حيث قدرته الأنتيجينية Antigenic حيث تكون له أجسام مضادة Antibodies . وقد أخذت هذه القدرة الأنتيجينية كدليل على أن حمض التيكويك يوجد على سطح الخلية الخارجى . . . كما أن وجود حمض التيكويك يعتبر صفة تقسيمية هامة ، فالبكتيريا الموجبة لصبغة جرام يحتوى جدارها الخلوى على هذا الحمض ، بينما تخلو منه جدار خلايا البكتيريا السالبة لصبغة جرام . ويمكن وضع الرسم التخطيطى الموضح فى الشكل (٩-١٦) كنموذج للجدار الخلوى فى البكتيريا الموجبة لصبغة جرام .



شکل ٩-١٦ : نموذج توضيحي للجدار الخلوي والغشاء الخلوي في البكتيريا الموجبة لصبغة جرام ويتضح فيه جزيئات حمض التيكويك الدهني Lipoteichoic acid ممتدة خلال الجدار الخلوي .

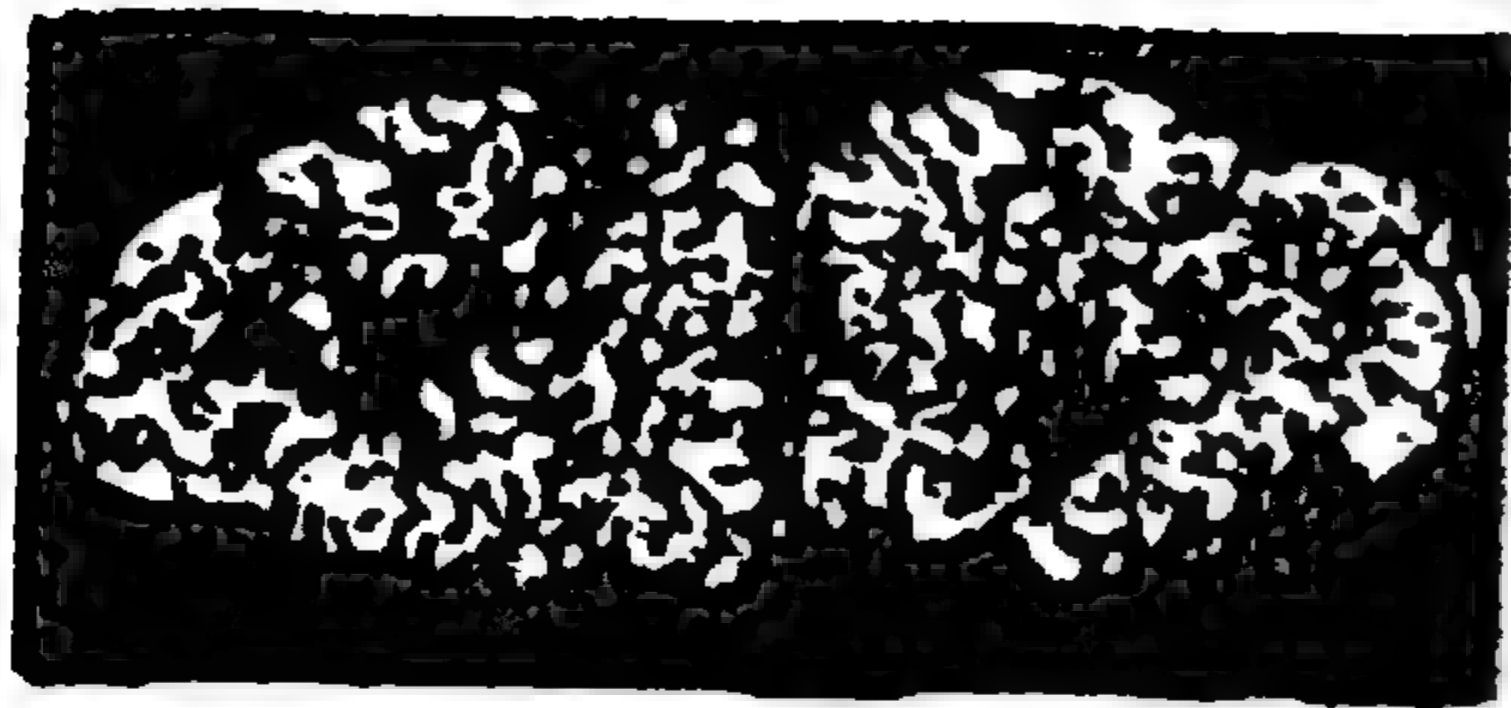


- أ - جدار خلوي ج - فوسفوليبيد
- ب - بروتين د - جليكوليبيد
- هـ - فوسفاتيديل جليكوليبيد
- و - حمض التيكويك الدهني
- Glycolipid
- Phosphatidylglycolipid
- Lipoteichoic acid

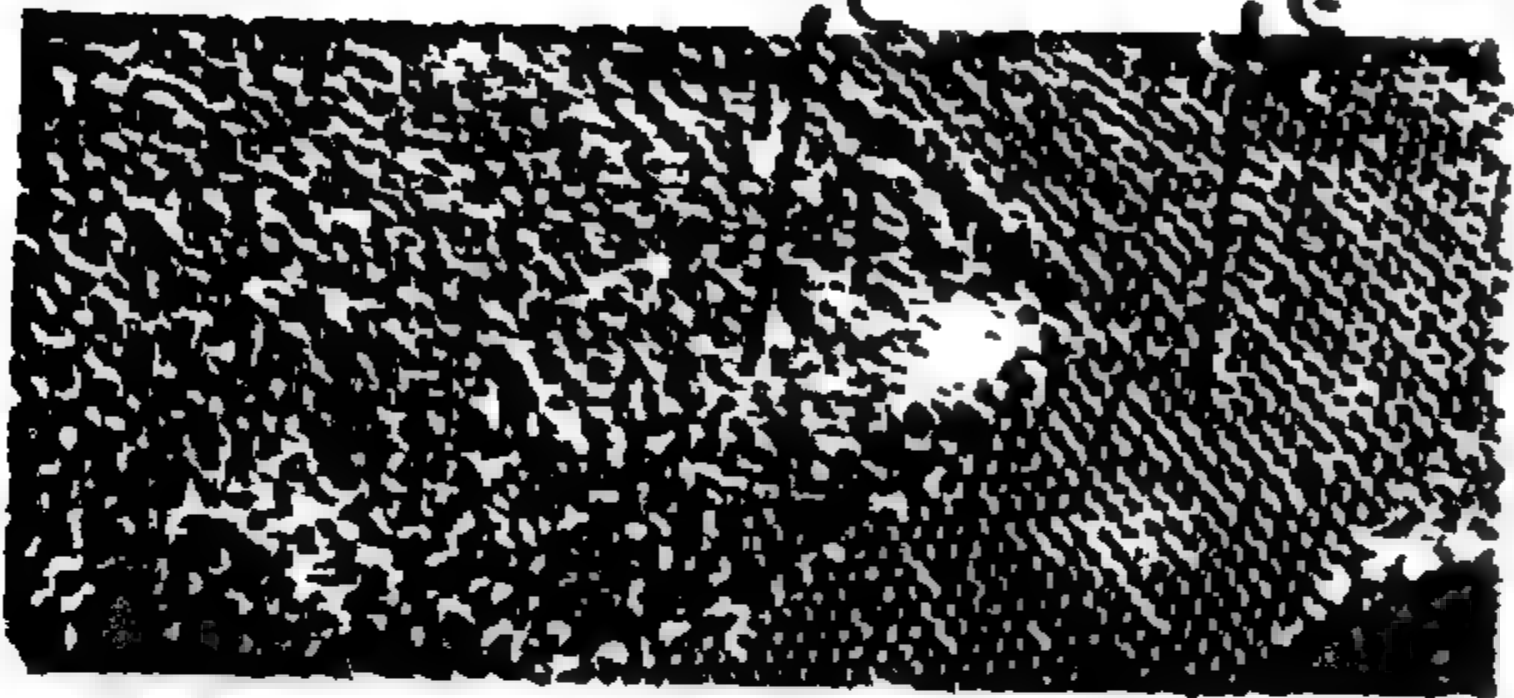
وبعد ايضاح موقع البيتيندوجليكان في الجدار الخلوى بالنسبة للمكونات الأخرى فانه يلزم الاشارة أيضا الى أن الصور المأخوذة بالمجهر الالكترونى للسطح الخارجى للخلايا السالبة لصبغة جرام يختلف بدرجة كبيرة عن السطح الخارجى للخلايا الموجبة لصبغة جرام ، فالبكتيريا السالبة لجرام لها سطح يتميز بعدم الانتظام الى درجة كبيرة Highly irregular بينما يتميز السطح الخارجى للبكتيريا الموجبة لصبغة جرام بدرجة عالية من الانتظام (شكل ١-١٧) . وبصفة عامة فانه يمكن تلخيص الفروق فى التركيب البنائى لكلا النوعين من البكتيريا فى الجدول رقم (١-٢) :

جدول ١-٢ : المكونات الكيميائية الأساسية للجدار الخلوى للبكتيريا السالبة والموجبة لصبغة جرام

المكون	البكتيريا السالبة لصبغة جرام		البكتيريا الموجبة لصبغة جرام
	الطبقة المصلبة الداخلية	الطبقة الخارجية	
١- البيتيندوجليكان Peptidoglycane	+	—	+
٢- حمض تيكويك Teichoic acid	—	—	+
٣- عديدات السكر Polysaccharides	—	—	+
٤- بروتين Protein	—	+	+
٥- Lipopoly saccharides	—	+	أو -
٦- Lipoprotein	أو +	+	—



(أ) ج د غ



(ب)

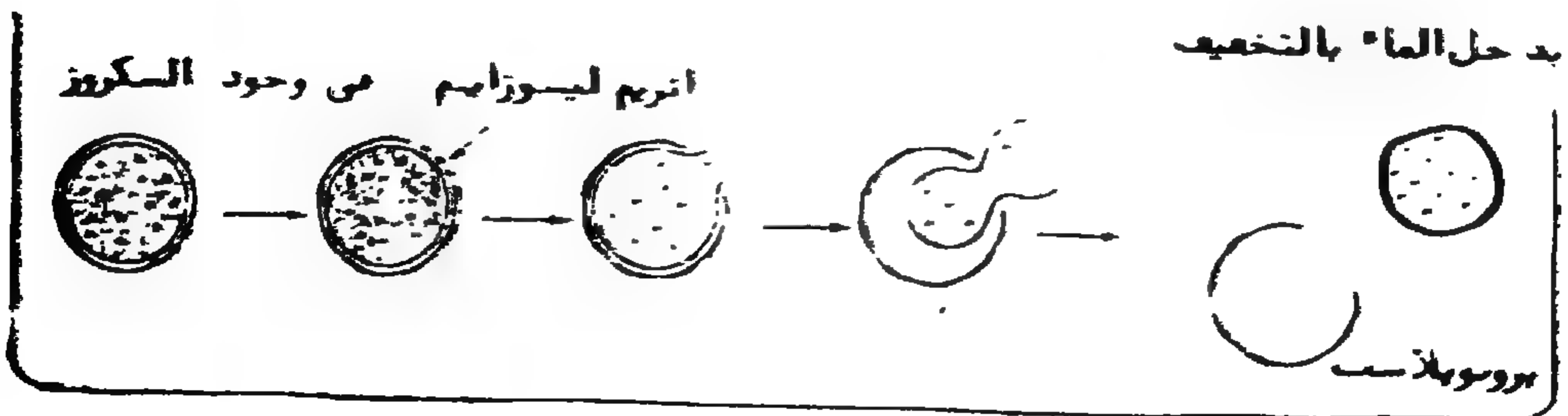
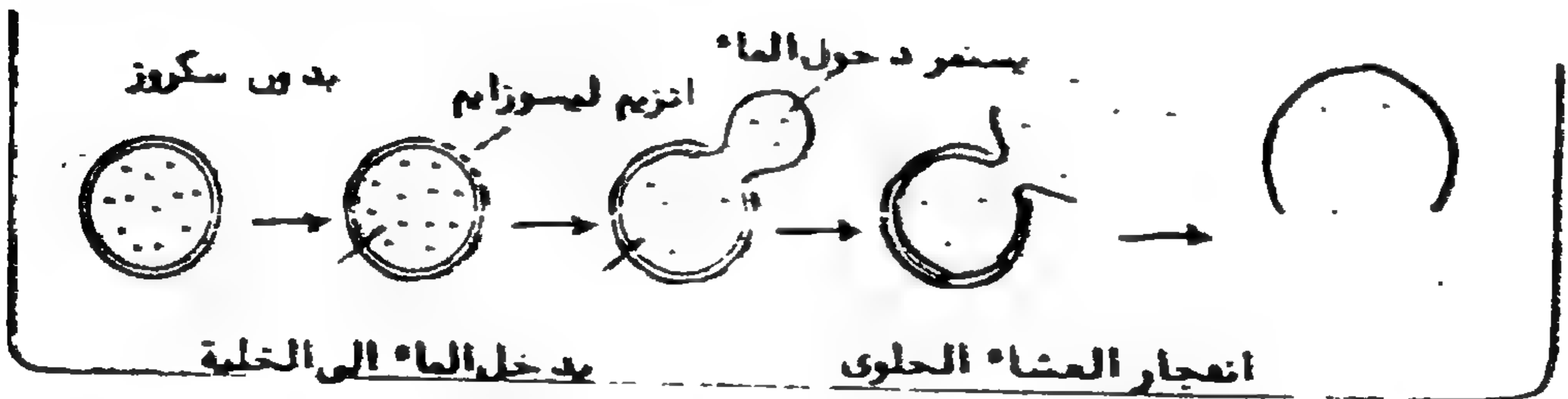
شكل ٩-١٧ : صورة بالمجهر الالكتروني
أ- صبغ سالب لخلية *E. coli* لا يضاح
الدرجة العالية من عدم انتظام السطح
الخارجي للخلية السالبة لصبغة جرام

Bayer 2 Anderson 1965. qsoc,
Nalt. Acad. Sci. US. 54, 1592

ب- تحضير Freezed etched لسطح
البكتيريا البحرية *Nitrosomonas*
مقطوعة بطريقة مائلة لا يضاح الدرجة
العالية من الانتظام في السطح الخارجي
للخلية الموجبة لصبغة جرام

(غ د) = غشاء خلوي

(ج د) = جدار خلوي



شكل ٩-١٨ : انفجار البروتوبلاست في المحاليل المخففة وتثبيت البروتوبلاست

بالسكر

علاقة تركيب الجدار الخلوى وخواص الصبغ للبكتيريا

اكتشف كريستيان جرام Christien gram فى سنة ١٨٨٤ م
صبغة للتفريق بين مجموعات البكتيريا سميت باسمه (صبغة جرام Gram
stain) بعد ذلك . .

وقد أدخل على طريقة جرام فى الصبغ العديد من التعديلات ،
ولكن الخطوات الأساسية ظلت كما هى وتنحصر فى تثبيت غشاء البكتيريا
على شريحة نظيفة ثم صبغه على التوالى بمحلول الصبغة القاعدية
" الكريستال البنفسجى Crystal violet " ثم بمحلول يود مخفف
فتكتسب جميع الخلايا لون أزرق قاتم ثم يعامل الغشاء بمذيب عضوى
(أسيتون أو كحول) . فالبكتيريا الموجبة لصبغة جرام تحتفظ باللون المعقد
الناتج عن اليود - الكريستال البنفسجى (Crystal violet - iodine
complex) . أما البكتيريا السالبة لصبغة جرام فانها تفقد اللون بسرعة
عند معاملتها بالمذيب العضوى وتصبح عديمة اللون - والخطوة الأخيرة
فى الصبغ تتضمن المعاملة بمحلول مخفف من الصفرائين أو الفوكسين الأحمر
اللون حتى يمكن رؤية الخلايا التى فقدت اللون الأزرق للمركب المعقد
(البكتيريا السالبة لصبغة جرام) . أما البكتيريا الموجبة لصبغة جرام
فهى تحتفظ باللون الأزرق كما سبق الإشارة إليه ، ومازال السبب الحقيقى
لاختلاف خلايا البكتيريا فى قدرتها على الاحتفاظ باللون غير مفهوم على
وجه الدقة . الا أن المؤكد أن الخلايا الموجبة لصبغة جرام تفقد هذه
الخاصية عند إزالة الجدار الخلوى بمعاملات مناسبة تؤدى للاحتفاظ
بالبروتوبلاست فى حالة متكاملة ، مما يدل على أن وجود الجدار الخلوى
ذو أهمية أساسية فى احتفاظ الخلية بالمركب الأزرق المعقد ، مع العلم
بأن المركب المعقد الأزرق هذا لا يتحد ولا يرتبط بالجدار الخلوى
فى البكتيريا الموجبة لصبغة جرام فعند فصل الجدار الخلوى وتنقيتها من
باقى أجزاء الخلية ، فانها لا تحتفظ باللون الأزرق عند صبغها بطريقة
جرام .

ولقد اعتقد العلماء لزمن طويل أن وجود شبكة الببتيد وجليكان السميكة ذات الثقوب الضيقة في البكتيريا الموجبة لصبغة جرام هو الذى يمنع خروج معقد الكريستال البنفسجى مع اليود من الخلية عند المعاملة بالمذيب العضوى بينما تسمح الثقوب الواسعة فى شبكة الببتيد وجليكان الرقيقة فى البكتيريا السالبة لصبغة جرام بخروج هذا المركب المعقد (الكريستال البنفسجى مع اليود) ولكن هذا الاعتقاد رغم شيوعه غير كاف لتفسير احتفاظ خلايا الخميرة (وهى لا تحتوى على ببتيد وجليكان فى جدرانها الخلوية) بالمركب الأزرق المعقد الناتج عن الكريستال البنفسجى مع اليود عند صبغها بصبغة جرام ، فالخماثر كلها موجبة لصبغة جرام . كما أن هذا الاعتقاد أيضا غير كاف لتفسير فقد كثير من البكتيريا الموجبة لصبغة جرام القدرة على الاحتفاظ بالمركب المعقد الناتج عن اتحاد الكريستال البنفسجى مع اليود عند توقفها عن النمو النشط . فكثير من البكتيريا مثل بعض أنواع البكتيريا العصوية التابعة لجنس *Bacillus* ، وهى بكتيريا موجبة لصبغة جرام طالما كانت فى مرحلة نمو نشط *Active growth* ولكنها تتحول الى سالبة لصبغة جرام عندما يتوقف النمو . لذلك فان الحالة الفسيولوجية للخلية لا بد وأن تكون ذات أهمية فى تقدير ما اذا كان نوع ما من البكتيريا موجبا أو سالبا لصبغة جرام . وعلى ذلك يجب اجراء اختبار الصبغ بصبغة جرام على بكتيريا نشطة (نامية) وليس على بكتيريا توقفت عن النمو .

وعلى ذلك فان سعة ثقوب نسيج الببتيد وجليكان علاوة على الحالة الفسيولوجية للخلية تحدد ما اذا كان نوع البكتيريا موجبا أو سالبا لصبغة جرام .

تكوين البروتوبلاست والبلمرة وانفجار البروتوبلاست:

علاوة على أن الجدار الخلوى مسئول عن الشكل المميز للخلية فانه مسئول عن صيانة الخلية عند وجودها فى وسط ذو ضغط أسموزى أقل من الضغط الأسموزى للسيتوبلازم كما سبق الذكر . فالمعروف أن معظم البكتيريا تعيش فى أوساط تقل كثيرا فى ضغطها الأسموزى عن الضغط الأسموزى داخل الخلية والذى يصل الى حوالى ١٠ ملليمولر *Millimolar* .

وحيث أن الماء يمر من الأوساط الأكثر تركيزا من خلال الانتشار الغشائي Osmosis فإنه لولا وجود الجدار الخلوى للبكتيريا لاستمر مرور الماء من الخارج الى الداخل مع انتفاخ الخلية ثم انفجارها فى النهاية . ويمكن ايضا ذلك بعمل تجربة يضاف فيها انزيم الليسوزايم Lysozyme (وهو انزيم يوجد فى الدموع وفى اللعاب وفى كثير من سوائل الجسم الحيوية وفى بياض البيض ، ويؤدى هذا الانزيم الى تحلل طبقة الببتيد وجليكان فى الجدار الخلوى) الى معلق مائى للبكتيريا فيؤدى ذلك الى تحـرر البروتوبلاست من الجدار الخلوى ثم التشرب بالماء ثم الانفجار ، اما اذا أجريت نفس التجربة مع وجود كمية من السكر الذائب بحيث يصبح الضغط الأسموزى الخارجى معادلا للضغط الأسموزى الداخلى ، فان الخلية تتحرر من الجدار الخلوى وتفقد شكلها المميز ويتكـون البروتوبلاست Protoplast والذي يتميز بشكل دائرى عادة مع ظهور بروزات منه من وقت لآخر . واذا وضعت هذه البروتوبلاست فى ماء أوسط أقل تركيزا فانها تنفجر فى الحال (شكل ٩-١٨) .

وعلى العكس من ذلك ، اذا وضعت البروتوبلاست فى وسط أكثر تركيزا فان الخلايا تتبلزم نتيجة خروج الماء منها وتصغر فى الحجم . وتحدث ظاهرة البلزمة تلك فى وجود أو عدم وجود الجدار الخلوى ، وتستغل هذه الظاهرة لحفظ الأغذية ضد الغزو بالكائنات الدقيقة ، فيضاف السكر الى بعض الأغذية كما يحدث فى صناعة المربى . ويتم تركيز الغذاء حتى يصل التركيز النهائى الى ٧٠% . وعند هذا التركيز تتلبزم الخلايا بدرجة تمنع نموها فى المربى . كما أن الملح يستخدم أيضا بنفس الهدف (وهو بلزمة الكائنات الدقيقة) لحفظ كثير من الأغذية من التلف بواسطة الكائنات الدقيقة وأن كان استخدام الملح فى الحفظ أقل شيوعا من استعمال السكر نظرا للطعم المالح الشديد الذى تكتسبه الأغذية المملحة .

٢- الكبسولة Capsule والطبقة الهلامية Slime layer

تفرز بعض البكتيريا مواد عضوية لزجة خارج الخلية ، وقد تحيط

هذه المواد بالخلية وتظل ملاصقة لها فتعرف بالكبسولة Capsule . وقد تنتشر هذه المواد في البيئة المحيطة وتكسبها قواما خاصا فتسمى بالطبقة الهلامية Slime layer وكلا من الكبسولة والطبقة الهلامية لا تزيد عن كونها مواد غذائية مخزونة خارج الخلية وليس لها أهمية أساسية لوظائف الخلية الحيوية في البناء والهدم بدليل أن الكثير من البكتيريا يعيش بدونها ، كما أن بعض البكتيريا التي تكون الكبسولة قد تفقد هذا بالتطفر Mutation أو نتيجة لنموها في ظروف معينة دون أن تتأثر وظائفها الحيوية الأخرى (شكل ١-١٩) .

وهذه المواد الخارجية قد تكون مكونة من عديدات الببتيد Polypeptide المكون من حمض أميني واحد وهو حامض الجلوتاميك D-glutamic acid ومرتبطة في مجموعة الكربوكسيل جاما (لا) مخالفا للبروتينات العادية وذلك مثل ما يحدث في بعض أنواع البكتيريا العصوية من جنس Bacillus . وبعض هذه المواد الخارجية قد تكون مكونة من عديدات السكر Polysaccharides كالسيليلوز والجلوكان Glucan وغيرها . (الجدول ٩-٣) .

وقد يكون للكبسولة دورا أساسيا في حماية الخلية كما يحدث في البكتيريا المرضية المعروفة باسم Streptococcus pneumonia حيث تقوم الكبسولة في حالة وجودها بحماية البكتيريا من الالتهاام بواسطة كرات الدم البيضاء Phagocytes .

ولذلك فإن البكتيريا المحتوية على الكبسولة من هذا النوع تسبب شدة الإصابة بمرض الالتهاب الرئوي Pneumonia ، أما البكتيريا التي تفقد الكبسولة نتيجة طفرة ، فإنها عادة لا تحدث إصابة أو تحدث أعراضا طفيفة نتيجة سرعة التهاامها بواسطة كرات الدم البيضاء .

٢- المركبات الأخرى التي توجد على سطح الخلية

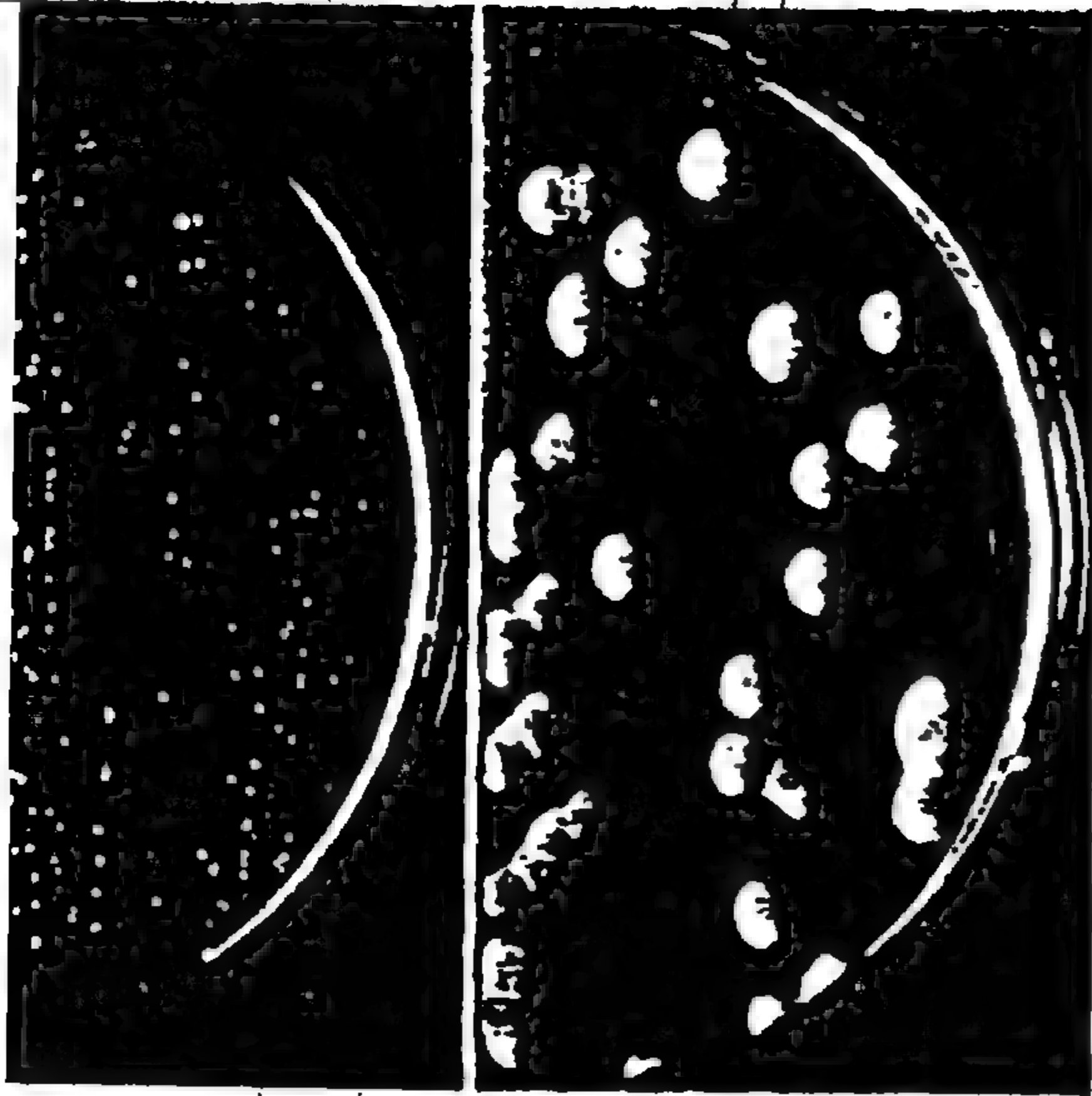
أ- الأسواط Flagella :

العديد من البكتيريا متحرك ، وهذه القدرة على الحركة تعتمد

شكل ٩-١١ : تكوين المواد
الكربوهيدراتية الخارجية
بواسطة البكتيريا .

بكتيريا ليوكونوستوك ميزنترويدز

Leuconostoc mesenteroides



أ- على مستنبت السكروز .
ب- على مستنبت الجلوكوز
مظهر المستعمرات الكبير
الهلامي على مستنبت
السكروز يرجع الى بناء
كميات كبيرة من المواد
الكربوهيدراتية (دكستران)
خارج الخلية .

جدول ٩-٣ : التركيب الكيميائي للمواد المعقدة التي تفرزها البكتيريا خارج الخلية لتكوين ما يعرف بالكبسولة أو الطبقة الهلامية

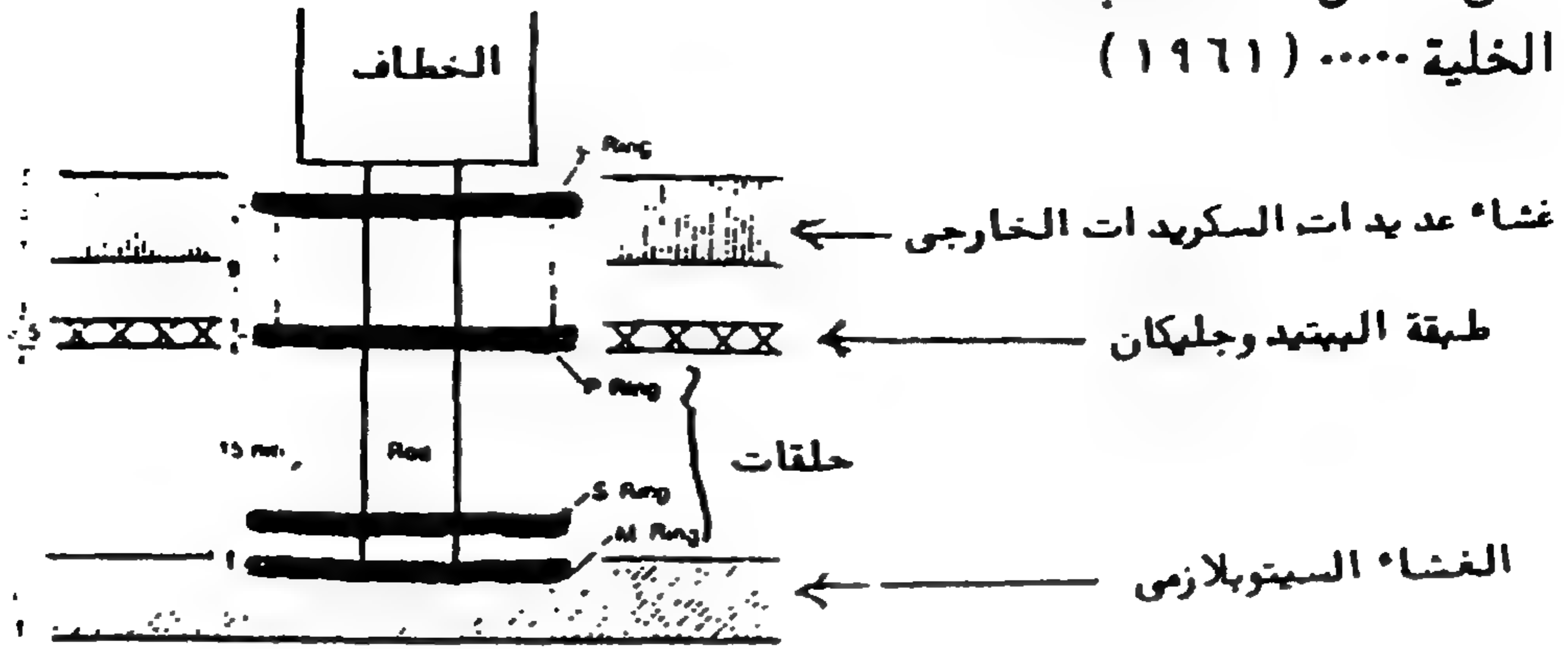
المادة المعقدة	وحدة بنائها	التركيب	البكتيريا التي تكونها
عديد حمض الجلوتاميك	حمض جلوتاميك (D)	(أ) سلسلة بيتيدية خارجية ناتجة تكوين رابطة بيتيدية بين مجموعة الأمين ومجموعة الكربوكسيل H-Glutamyl- γ -glutamyl	<u>B. anthrax</u> باسيلس انثراكس <u>B. megaterium</u> باسيلس ميجاتيريوم
سليولوز	جلوكوز	(ب) سلسلة كربوهيد راتية β glu 1 \rightarrow 4 β glu β glu 1 \rightarrow 2 β glu	<u>Acetobacter xylinum</u> <u>Agrobacterium tumefaciens</u>
جلوكان Glucan	جلوكوز		
النس كولانتيك Colanic	جلوكوز - جالكتور - فركتوز - حمض جلوكورونيك وبيرونيك .		بكتيريا القولون <u>Enterics</u> <u>Pseudomonas aeruginosa</u>
عديدات المورثيدات	حمض مانوبورنيك - حمض جلوكورونيك		<u>Asotobacter vinelandii</u>
عديدات سكاريدات	جلوكوز - رامنوز - حمض جلوكورونيك . .		<u>Streptococcus</u>
النوع الثاني Type II	جلوكوز - حمض جلوكورونيك	3- β glucuronyl 1-4 β glu cosy	<u>Streptococcus pneumonia</u>
النوع الثالث Type III	جلوكوز وفراكتوز	α fru- β glu 1 - 6 β glu	<u>Leuconostoc spp</u> <u>Streptococcus spp</u>
الداكستراتان Dextrans	فراكتوز وجلوكوز	β glu- α fru 2 - 6 α fru	<u>Pseudomonas spp.</u> <u>Xanthomonas spp.</u> <u>Bacillus spp.</u> <u>Streptococcus salivarius</u>
ليفانات Levans			

عادة على وجود أعضاء خاصة للحركة تسمى الأسواط Flagella (ومفردها سوط flagellum) وأسواط البكتيريا عبارة عن زوائد طويلة رفيعة (حوالي ٢٠ نانوميتر في القطر) حرة من أحد الطرفين ومتصلة بالخلية من الطرف الآخر. والسوط الواحد لا يمكن رؤيته بالمجهر الضوئي مباشرة الا بعد صبغه بصبغة مناسبة مثل صبغة الفوكسين القاعدية Basic fuchsin مع استعمال حمض التانيك Tannic acid كمادة رابطة بين السوط وجزيئات الصبغة على طول السوط حتى يمكن رؤية السوط بالمجهر الضوئي (شكل ٨-٧) ويمكن أيضا رؤية الأسواط بسهولة بواسطة المجهر الالكتروني ، وقد قسمت البكتيريا تبعا لتوزيع الأسواط عليها فيما سبق الى وحيدة السوط وسوطية الطرف وأيضا محيطية الأسواط (شكل ٨-٧) .

يتتركب السوط البكتيري من وحدات بروتينية Protein subunits تسمى الفلاجلين Flagellin مرتبة في شكل حلقي ذو تجويف داخلي (شكل ٩-٢٠) وتختلف بروتينات الفلاحلين من بكتيريا الى أخرى، ولكن بصفة عامة يمكن القول أن الفلاجلين يقل عن البروتينات الأخرى في محتواه من الأحماض الأمينية الكبريتية والأحماض الأمينية العطرية Aromatic Amino Acids بينما يزيد محتواه من الأحماض الأمينية الكرنوكسيلية (الحامضية) مثل حمض الجلوتاميك Glutamic acid وحمض الاسبارتيك Aspartic acid . ويتوقف شكل السوط وطول الموجه فيه على تركيب الفلاجلين الخاص به وأي طفرة تؤدي الى تغيير حمض أميني واحد ينتج عنها تغير في شكل السوط وطول الموجه فيه .

تختلف قاعدة السوط في تركيبها عن باقي السوط، فعند قاعدة السوط يوجد جزء عريض يسمى الخطاف (شكل ٩-٢١، ٢٢) وهو يربط بين خيط السوط الخارجي والجسم القاعدي Basal body للسوط . والجسم القاعدي للسوط عبارة عن جسم معقد يعمل على ربط السوط بغلاف الخلية Cell envelope . كما أن الجسم القاعدي Basal body والخطاف hook كلاهما مركبين من بروتينات تختلف عن بروتينات خيط السوط Filament ويتكون الجسم القاعدي من قضيب Rod مركزي صغير مركب عليه زوجين من الحلقات . ففي البكتيريا النسالة لصبغة جرام يكـون

شكل ١-٢٢ : رسم تخطيطي يبين مكان اتصال الحلقات بأغلفة الخلية (١٩٦١)



الزوج الخارجى من الحلقات مرتبطا مع طبقة عديدات السكر الدهنية Lipo-Polysaccharides وطبقة الببتيد وجليكان Peptidoglycan فى الجدار الخلوى .

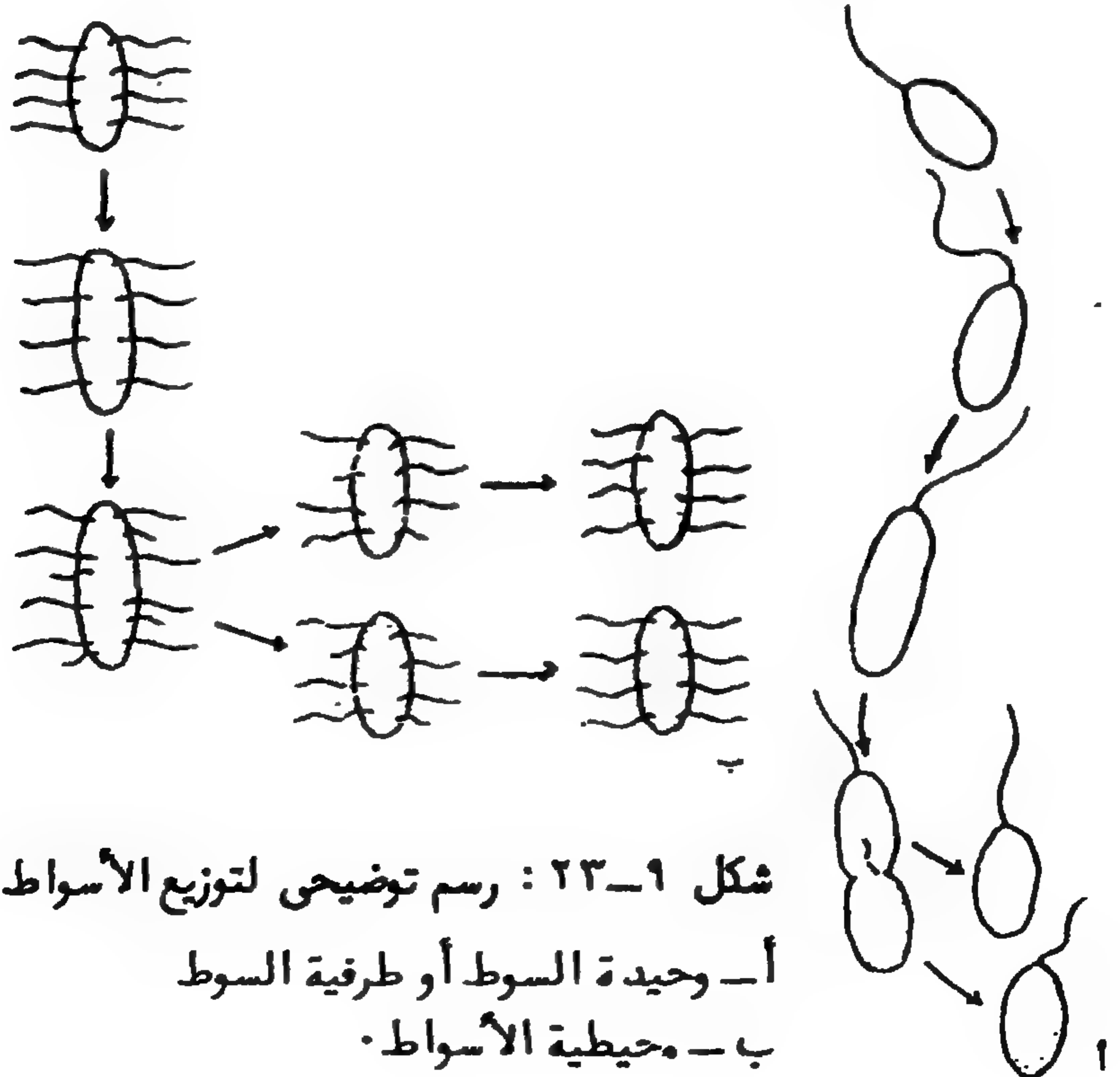
أما الزوج الداخلى من الحلقات فهو يكاد يقع عند مستوى الغشاء الخلوى Plasma membrane . أما فى البكتيريا الموجبة لصبغة جرام حيث لا يوجد طبقة عديدات السكر الدهنية lipopolysaccharides فان الزوج الخارجى من الحلقات يكون غائبا وتكون الحلقات الداخلية هى الموجودة فقط. وفيما يبدو أن الحلقات الداخلية تكون كافية فى حالة البكتيريا الموجبة لصبغة جرام نظرا لكبر سمك طبقة الببتيد وجليكان. وهذا الاختلاف على درجة كبيرة من الأهمية ، اذ يوضح أن الحلقات الداخلية هى المهمة فى أداء وظيفة السوط .

النمو السوطى Flagellar growth

لا ينمو السوط من القاعدة مثل شعر الحيوانات ، ولكنه ينمو من القمة ، فجزئيات الفلاجلين Flagellin تتكون فى الخلية ثم تمر من داخل تجويف السوط لتضيف جزئيا الى النهاية الحرة للسوط . وينمو السوط نتيجة للتركيب الذاتى Self assembly للفلاجلين والذى يحتوى

على كافة المعلومات اللازمة لبناء السوط . وعملية نمو السوط هي عملية مستمرة ، فيظل السوط في النمو حتى يصل الى أقصى طول له . وحتى عندما ينكسر جزء من طرف السوط فان عملية التركيب الذاتى تقوم بتعويضها .

وعندما تنقسم الخلية فان الخليتين الأختين daughter cells يجب أن يحصل على نسخة من السوط . ففي الخلايا طرفية الأسواط أو وحيدة السوط تحصل الخليتين الأختين على نسخة من الأسواط وفقا للرسم التوضيحي في شكل (١-٢٣) أما في الخلايا محيطية الأسواط فـنـان الخليتين الأختين تحصلا على نسخ من الأسواط مع بناء أسواط فيما بينها لملأ الفراغات التى تنتج عن نمو الخليتين الأختين .



شكل ١-٢٣ : رسم توضيحي لتوزيع الأسواط على الخلايا
أ- وحيدة السوط أو طرفية السوط
ب- محيطية الأسواط .

وتتحرك البكتيريا وحيدة السوط بعمل تموجات سريعة بواسطة السوط . أما البكتيريا طرفية الأسواط فتلتف مجموعة الأسواط حول نفسها على هيئة لولب يتحرك حول نفسه ونحو اليمين واليسار فتتدفع الخلية الى الأمام . وفي البكتيريا محيطية الأسواط تلتف مجموعة الأسواط الطرفية في أحد طرفي الخلية حول نفسها مكونة لولبا يتحرك حول نفسه فتتحرك الخلية للأمام كما هو موضح في الشكل (٩-٢٤) .

الاستجابة الحركية للبكتيريا المتحركة بالأسواط نحو الكيمائيات

Chemotactic behavior of motile bacteria

ان البكتيريا ذات الأسواط تكون عادة في حركة عشوائية نشطة مستمرة . ولكن اذا وجدت هذه البكتيريا في مجال من تركيزات مختلفة من مادة كيميائية Chemical gradient فان الخلايا تهاجر وتتراكم في الجزء الذي يحتوى على أنسب تركيز لمعيشتها من المادة الكيميائية (وفي معظم الأحوال تكون هذه المواد الكيميائية عناصر مغذية) . وتنقسم المواد الكيميائية التي تؤثر على السلوك الحركي للبكتيريا الى قسمين :

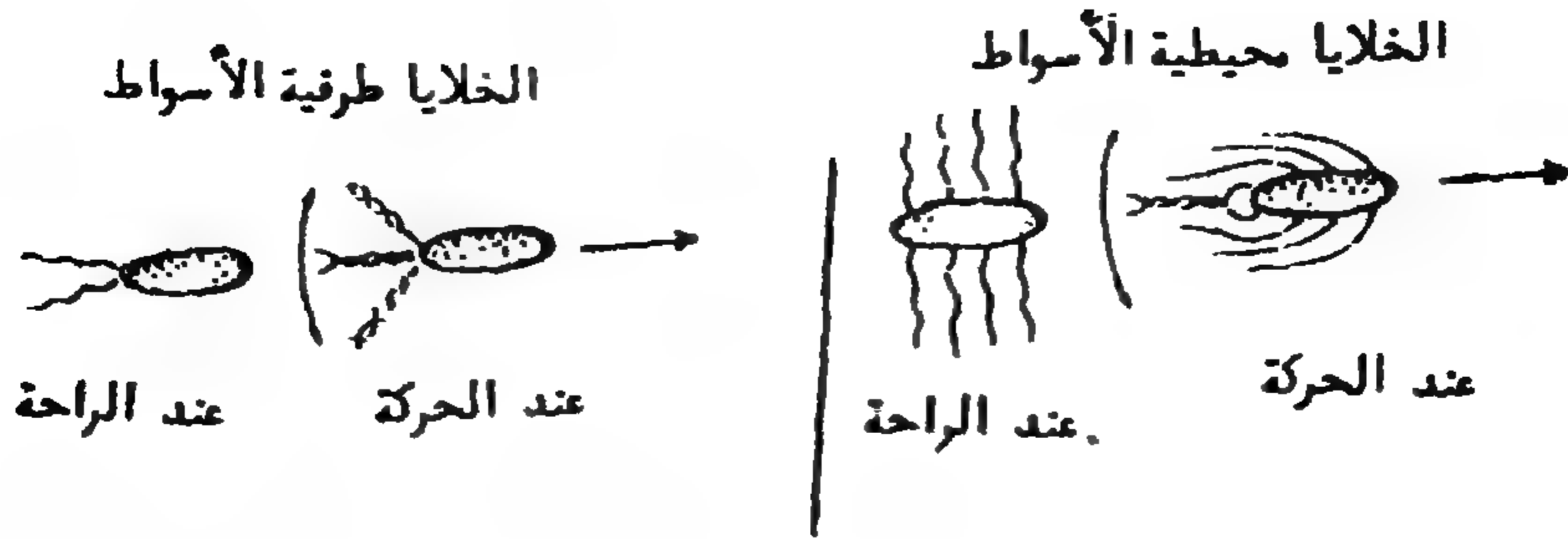
المواد الكيميائية الجذابة Attractants وهي عادة عناصر مغذية (Nutrients)

وتميل الخلايا البكتيرية المتحركة الى التراكم في الأجزاء ذات التركيز العالي (دون الوصول الى تركيزات قاتلة) منها .

المواد الكيميائية الطاردة Repellants وهي عادة عناصر سامة .

وتميل خلايا البكتيريا المتحركة الى التراكم في الأجزاء ذات التركيز المنخفض منها .

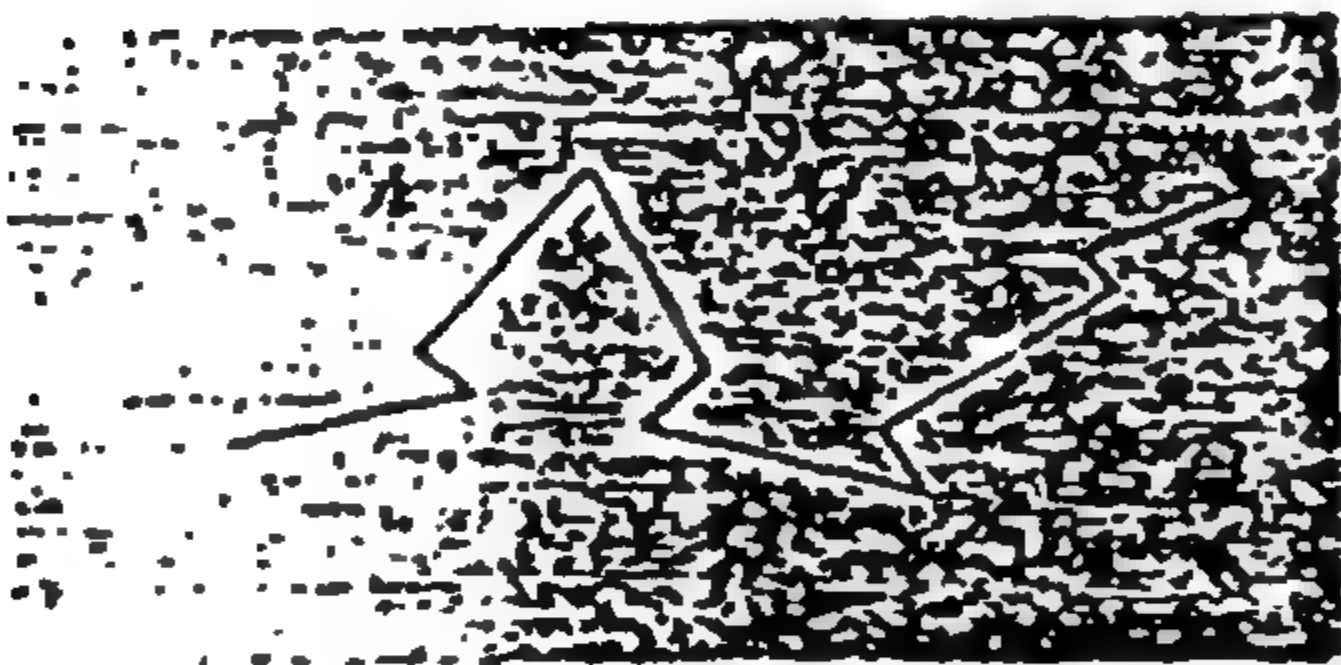
وتعرف حركة البكتيريا تجاه التركيزات العالية أو المنخفضة (وبمعنى آخر حركة البكتيريا تجاه أو بعيدا عن المواد الكيميائية المختلفة) باسم الاستجابة الحركية للبكتيريا نحو الكيمائيات Chemotactic response أو



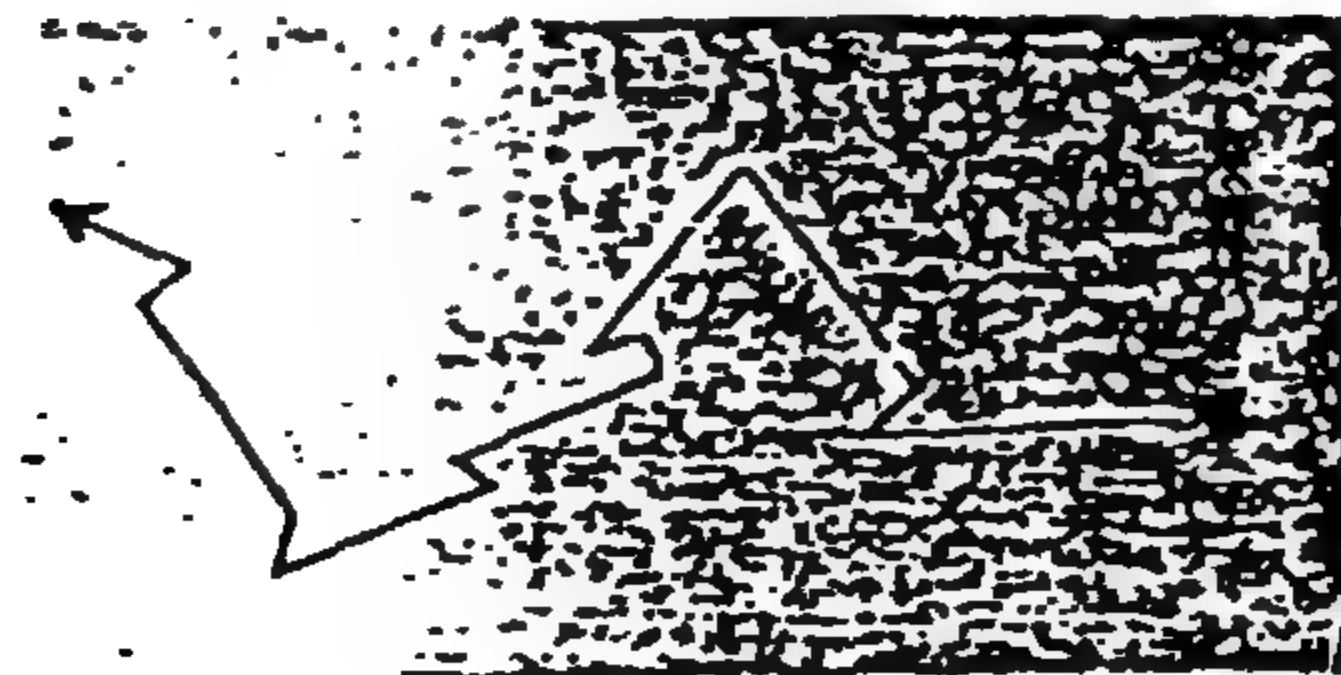
شكل ٩-٢٤ : طريقة حركة الأسواط في البكتيريا طرفية الأسواط ومحيطية الأسواط



ب - مادة جاذبة



ج - مادة طاردة



شكل ٩-٢٥ : رسم تخطيطي لحركة بكتيريا القولون كما سجلت بمجهز التتبع . ويلاحظ أن الرسومات ذات محورين بينما الحركة تحدث على ثلاث محاور :

أ - حركة عشوائية للخلية في مجال ذو تركيب كيميائي متجانس حيث يتبع كل تغيير في الاتجاه سبحة لفتسرة قصيرة .

ب - حركة موجهة في اتجاه مادة جاذبة ، فالسباحة مازالت عشوائية في الاتجاه ، ولكن عندما يبدأ الاتجاه في ارتفاع التركيز تكون السباحة لمسافات أطول ويقل تغيير الاتجاه . . .
ج - حركة موجهة بعيدا عن مادة طاردة . . .

الحركة الموجهة بالكيميائيات للبكتيريا Chemotaxis شكل (٩-٢٥) .

وتختلف المواد الكيميائية التي تؤثر على حركة البكتيريا حركة موجبة (المواد الجذابة Attractants) أو حركة سالبة (المواد الطاردة Repellant) باختلاف البكتيريا .

ولا يمكن ملاحظة السلوك الحركي للبكتيريا بواسطة المجهر الضوئي العادي نظرا للصعوبة البالغة في تتبع الخلية ، فالخلية سريعة الحركة وتخرج بسرعة عن مجال رؤية المجهر ، ولقد ابتكر لذلك خصيصا نوع آخر من المجاهر يسمى مجهر التتبع Tracking microscope . ويحتوي هذا المجهر على غرفة صغيرة خاصة ذات أبعاد ثلاثة محددة ، ويمكن تسجيل حركة الخلية داخل هذه الغرفة للحصول على خط سير الخلية (شكل ٩-٢٥) . وعند فحص حركة سير عدد كبير من الخلايا فانه يمكن تلخيص الاستجابة الحركية للبكتيريا تجاه الكيميائيات على أنه جرى وتغيير اتجاه Run and Twiddle .

فعندما تجرى الخلية فانها تسبح في استقامة بانحناءات خفيفة في كلا الاتجاهين ثم تتوقف وتجرى في اتجاه آخر ، والانحرافات عشوائية طالما لم يوجد تغير في تركيز الكيميائيات المختلفة في الوسط . أما اذا وجد تغير في تركيز مادة كيميائية معينة سواء جذابة أو طاردة فان الاتجاهات العشوائية تصبح متحيزة Biased للاتجاه الأعلى في التركيز أو الأقل في التركيز ، وذلك بأن تقل عدد الانحرافات ويصبح الجرى في اتجاه واحد لمسافات أطول .

وتشير التجارب أن الخلايا لا تميز الفرق في التركيز عن طريق مقارنة التركيز عند طرفي الخلية في نفس الوقت instantaneous spatial comparison كما قد يبدو للوهلة الأولى . ولكن ثبت أن الخلية (على الأقل فسي بكتيريا القولون *E. coli*) لديها ذاكرة قصيرة للتركيزات الصاعدة أو النازلة تمكن الخلية من مقارنة التركيز الحالي والسابق على فترات قصيرة . ولجهاز الذاكرة في الخلية القدرة على تذكر التركيز الماضي لعدة ثوان . فاذا فرضنا أن خلية بكتيرية تسبح بسرعة ٣٠ ميكرومتر / الثانية

(جدول ٩-٤) ولها ذاكرة تمتد لدقيقة واحدة فان ذلك يعنى أنها نستطيع مقارنة تركيزين على بعد ٨١ ملليمتر (أى حوالى ألف مرة طول جسم الخلية) وبذلك فان الخلية لا تحتاج لدرجة عالية من دقة القياس مثلما لو احتاجت لو كانت مقارنة التركيز عند طرفى الخلية .

جدول ٩-٤ : سرعة عدد من البكتيريا المعروفة مقارنة بطول الخلية نفسها

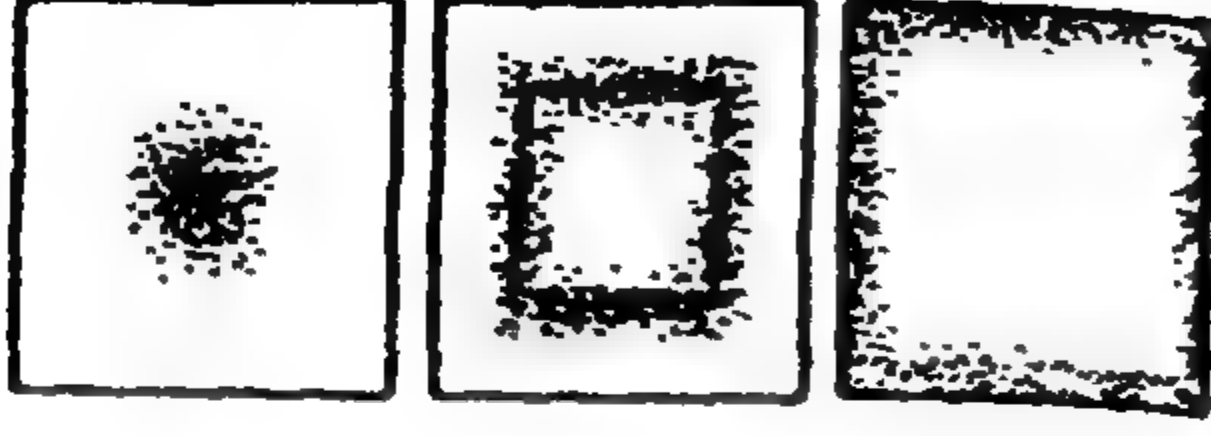
اسم البكتيريا	نوع الأسواط	طول الخلية بالميكرومتر	سرعة الخلية ميكرومتر / ثانية	سرعة الخلية طول الخلية / ثانية
سودوموناس أوجينوسا ^{٥٢} <u>Pseudomonas aeruginosa</u>	وحيد طرفى	١٠	٥٥٨	٢٧
كروماتيم أوكيناي <u>Chromatium okenii</u>	طرفية الأسواط	٢٠	٤٥٩	٥
ثيوسبيريللم جيننز <u>Thiospirillum jense</u>	طرفية الأسواط	٣٥	٨٦٥	٢
إيشيريشيا كولاي <u>Escherchia coli</u>	محيطية الأسواط	٢	١٦٥	٨
باسيلس ليشنفورميس <u>Bacillus licheniformis</u>	محيطية الأسواط	٣	٢١٤	٧
سارسينا يوريا <u>Sarcina ureae</u>	محيطية الأسواط	٤	٢٨١	٧

وقد اتضح أن البكتيريا تحتوى على سطحها الخارجى مراكز
لا حساس الكيمائيات Chemoreceptors تستطيع الاحساس بوجود مواد
كيميائية معينة ومعرفة تركيزها . وما هو جدير بالذكر أن هذه المراكز
المسئولة عن الاستجابة الحركية للبكتيريا هي نفسها البروتينات المسئولة
عن نقل الكيمائيات داخل الخلية ، وبالرغم من أن البروتينات المسئولة
عن نقل الكيمائيات Binding proteins متخصصة جدا فى نقل
الكيمائيات الى داخل الخلية فانها ليست على نفس الدرجة من التخصص
فى الاحساس بالمواد الكيميائية كمراكز احساس للكيمائيات Chemoreceptors .
وعلى سبيل المثال نجد مركز احساس الجلكتوز Galactose chemoreceptor
يستطيع الاحساس بالجلوكوز Glucose والفيوكوز Fucose علاوة على
الجلكتوز ، بينما يستطيع مركز احساس المانوز Mannose الاحساس
بالجلوكوز علاوة على المانوز

الاستجابة الحركية للبكتيريا المتحركة بالأسواط نحو أكسجين الهواء

وهو نوع من أنواع حركة البكتيريا الموجبة بالكيمائيات Chemotaxis
إذا اعتبرنا الأكسجين مادة كيميائية . وقد سميت الحركة الموجبة بالأكسجين
الهوائى Aerotaxis أو Aerotatic response . وفى هذه
الحالة قد يكون الأكسجين الهوائى مادة جاذبة Attractant (وذلك
بالنسبة للبكتيريا الهوائية الاجبارية) أو مادة طاردة (وذلك بالنسبة
للبكتيريا اللاهوائية الاجبارية) . أما البكتيريا المحبة للتركيزات المنخفضة
من الأكسجين Microaerophilic فانها تتخذ مركزا وسطا بين الأماكن
التي تحتوى على تركيز عالى من الأكسجين والأماكن التي لا تحتوى على
أكسجين (شكل ٩-٢٦) .

شكل ٩-٢٦ : الاستجابة الحركية للبكتيريا المتحركة نحو أكسجين الهواء . معلق من بكتيريا مختلفة وضعت على شريحة زجاجية تحت غطاء الشريحة . . .



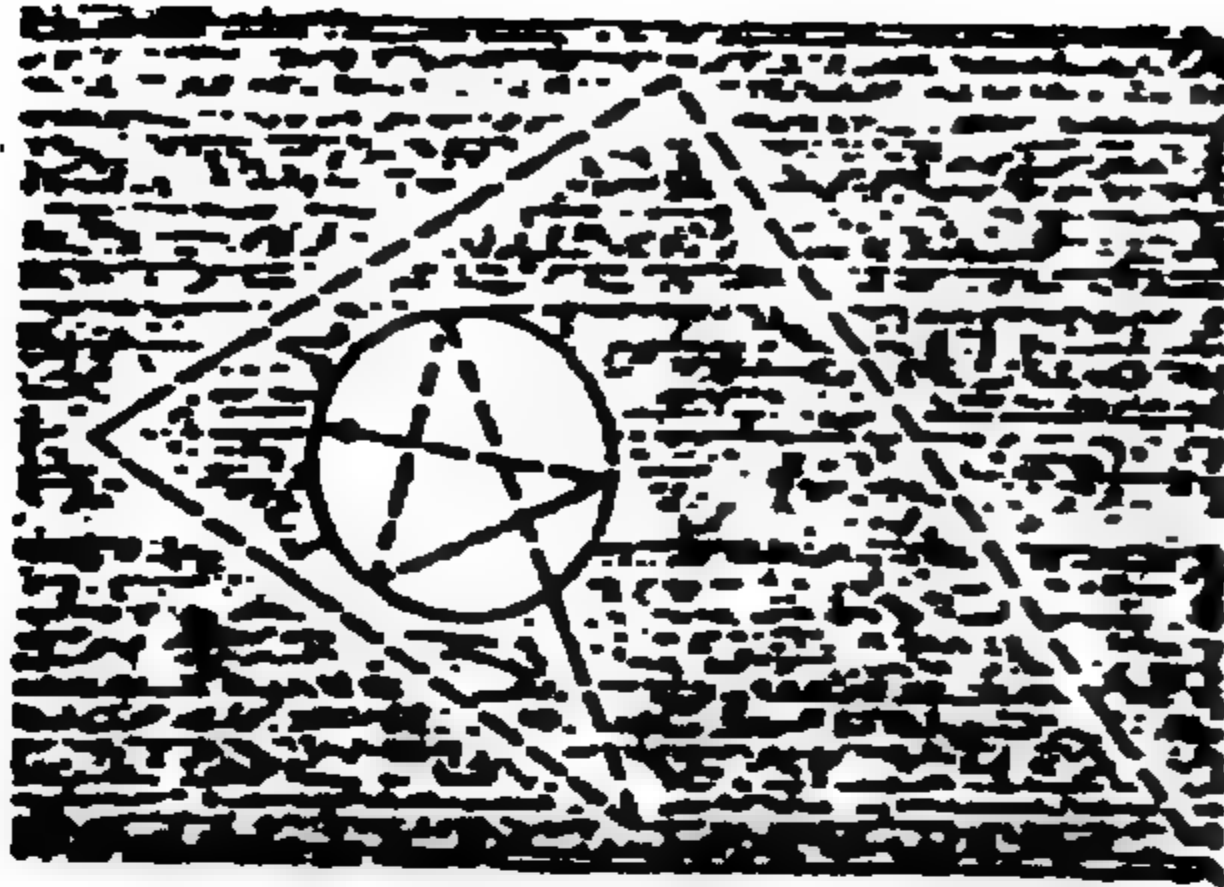
أ ب ج

أ - بكتيريا هوائية اجبارية تتراكم بالقرب من حواف غطاء الشريحة حيث يكون تركيز الأكسجين أعلى ما يمكن .
ب - بكتيريا هوائية محبة للتركيزات المنخفضة من الأكسجين تتراكم على مسافة من حافة غطاء الشريحة .
ج - البكتيريا اللاهوائية اجبارية تتراكم عند مركز غطاء الشريحة حيث تكون الظروف لا هوائية .

الاستجابة الحركية للبكتيريا المتحركة (البنفسجية) المثلثة للضوء نحو الاضاءة

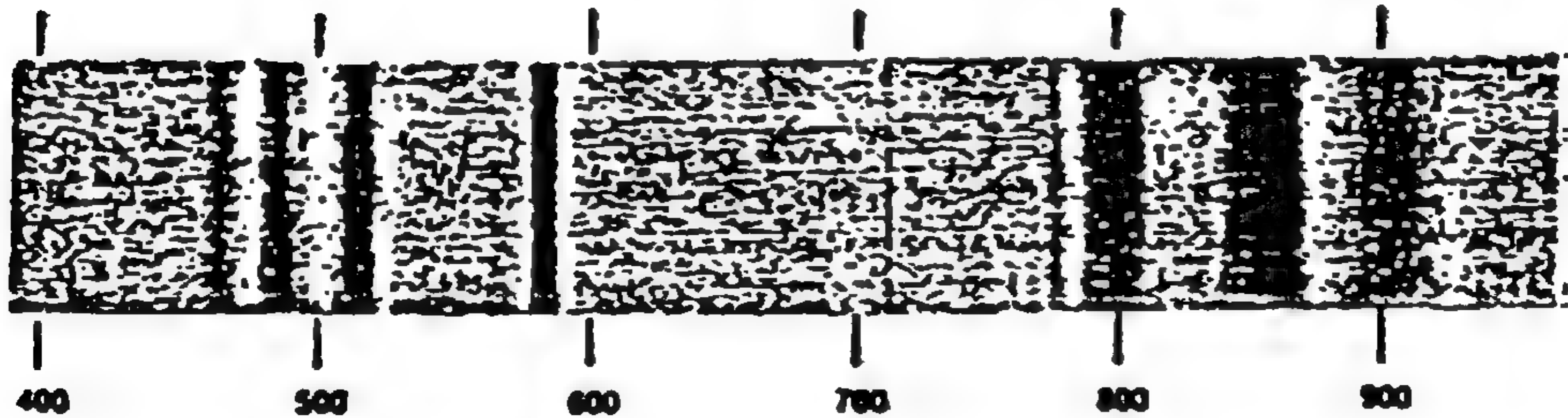
ان البكتيريا البنفسجية المثلثة للضوء تستجيب حركيا للاضاءة (ايجابا وسلبا) على حسب شدة الاضاءة والطول الموجي ، وتسمى هذه الظاهرة " السلوك الحركي للبكتيريا المثلثة للضوء نحو الاضاءة Phototaxis " أو Phototactic response . ويمكن الاستدلال على هذا السلوك الحركي بوضع معلق بكتيري (البكتيريا البنفسجية) في غرفة مضيئة اضاءة ضعيفة ثم تسليط بقعة محدودة من هذا المعلق لضوء أكثر شدة .

وفي خلال فترة من ١٠ - ٣٠ دقيقة نجد أن معظم البكتيريا تتركز في المنطقة المضيئة (شكل ٩-٢٧) والتي تعمل كمصيدة ضوئية للبكتيريا المثلثة للضوء ويحدث ذلك نتيجة دخول البكتيريا في منطقة الضوء القوي بالحركة العشوائية ، وتمتنع عن الخروج عنها بواسطة تغيير فجائي في اتجاه الحركة العشوائية كلما قابلت حدود المنطقة المضيئة .



شكل ١-٢٧ : رسم تخطيطي لتوضيح عمل
المصيدة الضوئية للبكتيريا البنفسجية-
المثلة للضوء المتحركة عند وجودها لسي
مجال مظلم مع وجود بقعة ضوئية واحدة .
الخط المتقطع يوضح اتجاه سير هذه
البكتيريا .

كما لوحظ أنه لو عرض معلق بكتيري (من البكتيريا البنفسجية المثلة للضوء) في غرفة مظلمة لمجال من الاشعاعات الضوئية ذات الطول الموجي المختلف (ويمكن الحصول عليها بتحليل الضوء الأبيض بواسطة منشور ثلاثي) ، فنجد أن البكتيريا تتركز في خطوط على طول الوعاء الذي توجد فيه . والأماكن التي تتركز فيها البكتيريا هي أماكن الأشعة ذات الطول الموجي التي يمكن للبكتيريا استعمالها لتثيل الضوء (شكل ١-٢٨) .



شكل ١-٢٨ : النظام الذي تبين عليه البكتيريا البنفسجية المثلة للضوء المتحركة الموجودة وسط سائل عند تعرضها لأشعة ضوئية ذات أطوال موجية مختلفة . يلاحظ تراكم الخلايا بكثرة عند الأشعة الضوئية ذات الطول الموجي الذي يمكن استخدامه في عمليات التثيل الضوئي لهذه البكتيريا . والخلايا المركزة تتركزها ضعيف نسبيا حول طول موجي ٥٠٠ نانوميتر تمرى الى امتصاص الكاروتينات عند هذا الطول الموجي ، أما التركيزات العالية عند ٥١٠ ، ٨٠٠ ، ٨٥٠ ، ٩٠٠ نانوميتر فهي تمرى لأن الكلوروفيل البكتيري يمتص هذه الموجات ويستغلها فسي التثيل الضوئي .

٢- الزوائد العادية Fimbriae والزوائد الجنسية Pili

الزوائد العادية Fimbriae أحيانا يطلق عليها اسم Ordinary pili ولكننا هنا نستعمل كلمة Fimbriae تمييزا لها عن الزوائد الجنسية Sex pili. وكلا النوعين من الزوائد عبارة عن تركيبات تشبه الى حد ما الأسواط، ولكنها مستقيمة لا تلعب أى دور فى الحركة. والزوائد العادية Fimbriae أقصر كثيرا من الأسواط وأعدادها كبيرة على سطح الخلية فى الأنواع التى تحتوى عليها (شكل ٨-١٠) ولا تحتوى كل البكتيريا على Fimbriae وتتوقف القدرة على انتاجها على العوامل الوراثية الموجودة فى أنواع معينة من البكتيريا. ووظيفة هذه الزوائد العادية Fimbriae ليست معروفة بالتأكيد، ولكن هناك بعض الدلائل على أنها تمكن البكتيريا من الالتصاق بالأسطح الخاملة، كما أنها تساعد فى تكوين طبقة الريم التى تنتج من التصاق الخلايا ببعضها على سطح السوائل Pellicles. أما الزوائد الجنسية Pili (ومفردها Pilus) فهى ذات تركيب يشبه الزوائد العادية Fimbriae ولكنها عادة أطول، وتحتوى الخلية على عدد قليل منها (١-٥ زوائد جنسية). ويمكن رؤيتها بالمجهر الضوئى أحيانا، وهى توجد فى الخلايا البكتيرية المذكرة، كما أنها موقع استقبال (ادمصاص) فيروسات معينة متخصصة تصيب خلايا البكتيريا المذكرة فقط تسمى "الفيروسات المتخصصة لذكور البكتيريا Male specific viruses". لذلك فيمكن صبغ هذه الزوائد الجنسية بواسطة هذه الفيروسات المتخصصة مما يساعد على رؤية الزوائد الجنسية بسهولة، ولا تدمص هذه الفيروسات على أى زوائد أخرى فى الخلية. وتستخدم هذه الزوائد فى عمليات التزاوج بين البكتيريا المذكرة والمؤنثة وتنقل خلالها المواد الوراثية من الخلية المذكرة الى الخلية المؤنثة، وتتركب هذه الزوائد من وحدات بروتينية Protein subunits خاصة تسمى Pillin مرتبة فى حلقات حلزونية الشكل مكونة تجويفا داخليا (شكل ٩-٢٠) تمر فيه المواد الوراثية أثناء عملية التزاوج Conjugation.

٤- الجراثيم (الأبواغ) الداخلية البكتيرية

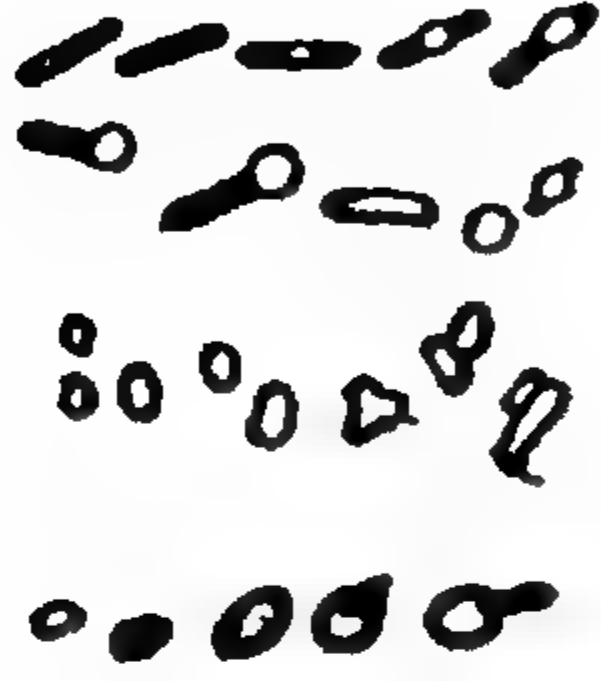
Bacterial Endospores

لقد كان اكتشاف الجراثيم البكتيرية حدثا هاما جدا في علم البكتيريا فعندما عرفت المقاومة الشديدة لهذه الجراثيم للحرارة طورت كثيرا من الطرق المستخدمة ليس فقط في علم الأحياء الدقيقة كتعقيم البيئـات والأدوات المعملية وغيرها ، بل أيضا طورت طرق تعقيم أدوات الجراحة و طورت أيضا طرق معاملة الأغذية بالحرارة كالتعقيم التجارى .

وتسمى جراثيم البكتيريا " جراثيم داخلية Endospore " لأنها تتكون داخل الخلية ، ورغم أن العديد من الكائنات تكون جراثيما ، إلا أن جراثيم البكتيريا هي الأشد مقاومة للحرارة ، فمن العادى أن نجد جراثيما تقاوم درجة حرارة غليان الماء لفترات زمنية ليست بالقصيرة . وقد اكتشف حديثا نوع من جراثيم البكتيريا تستطيع مقاومة درجة حرارة التعقيم فى المعقم Autoclave على ١٢١°م لمدة ١٠ دقائق ، وبذلك تكون هذه الكائنات هي أكثر صور الحياة المعروفة مقاومة للحرارة العالية ، ولا تقتصر مقاومة هذه الجراثيم فى مقاومة الظروف غير المناسبة على مقاومة الحرارة فقط ، فان الجراثيم أيضا تتحمل الجفاف الشديد والأحماض والاشعاع وكثيرا من المواد الكيميائية المطهرة التى تستخدم لقتل البكتيريا الخضرية Vegetative cells التى تنتج الجراثيم .

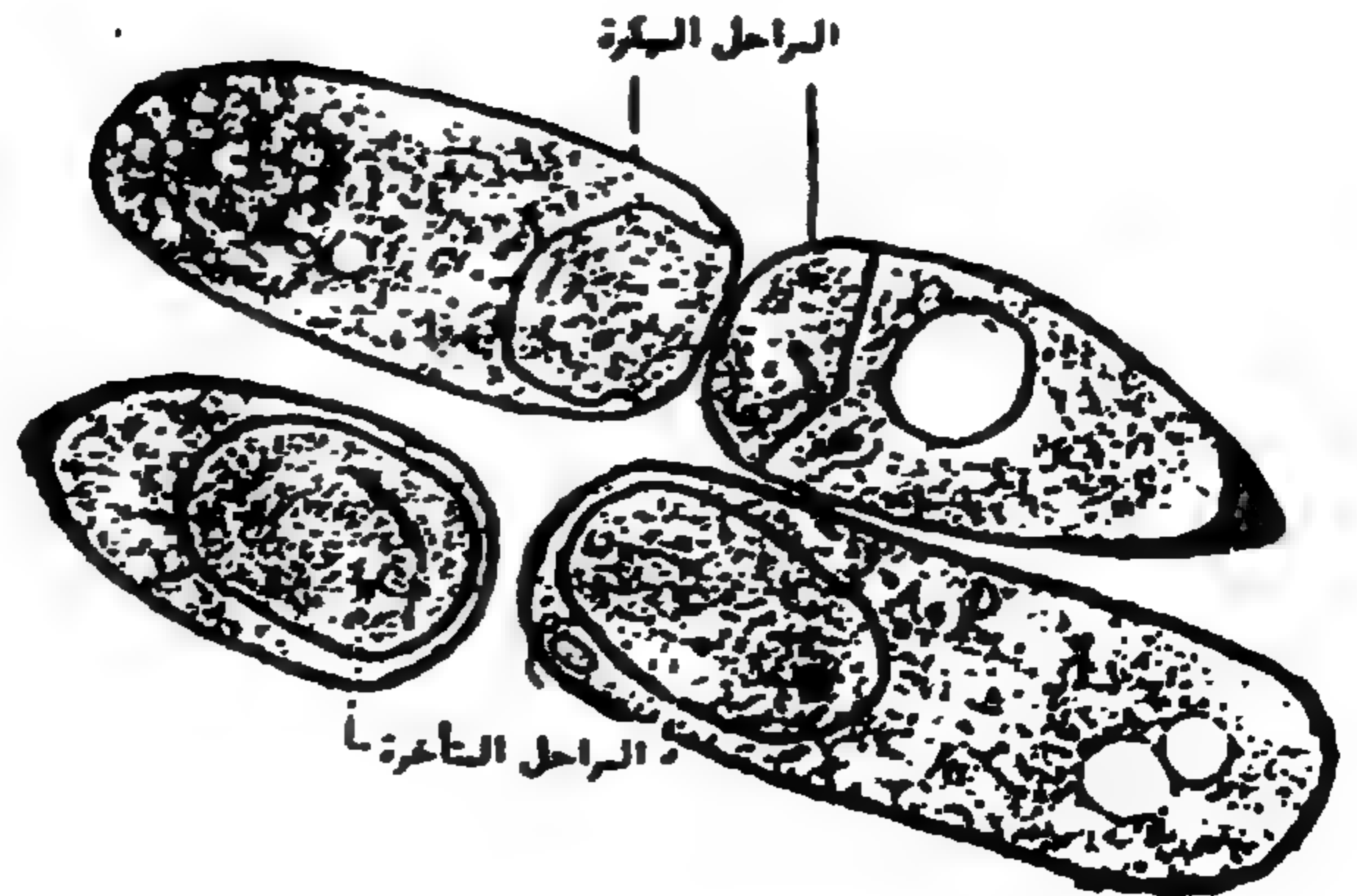
ويمكن رؤية الجراثيم البكتيرية تحت المجهر الضوئى كأجسام شديدة اللمعان Highly refractile (شكل ٩-٢٩) . والجراثيم مقاومة للصبغ بالطرق العادية وتحتاج لطرق خاصة لصبغها . لذلك فالخلايا المصبوغة بصبغة بسيطة مثل أزرق الميثيلين والمحتوية على جراثيم تظهر بها الجراثيم دون صبغ كأجسام لامعة . ويعتبر تركيب الجراثيم البكتيرية أكثر تعقيدا عن تركيب الخلايا الخضرية الناتجة منها ، وخاصة فى الأغلفة الخارجية . فالغلاف الخارجى للجرثومة يسمى الـ Exosporium وهو غلاف رقيق رهيف يقع داخله غطاء الجرثومة Spore coat وهو عبارة عن طبقة أو عدة طبقات من مادة تشبه الجدار الخلوى . ويلى طبقة غطاء الجرثومة طبقة الـ

Cortex ثم يلي ذلك طبقة اللب Core وهي تحتوى بداخلها على الجدار الخلوى Cell wall or core wall فالغشاء الخلوى والمنطقة النووية وغيرها من مكونات الخلية ، وعلى ذلك فالجرثومة تختلف عن الخلية فى الطبقات خارج الجدار الخلوى Core wall or Cell wall (شكل ١-٣٠)

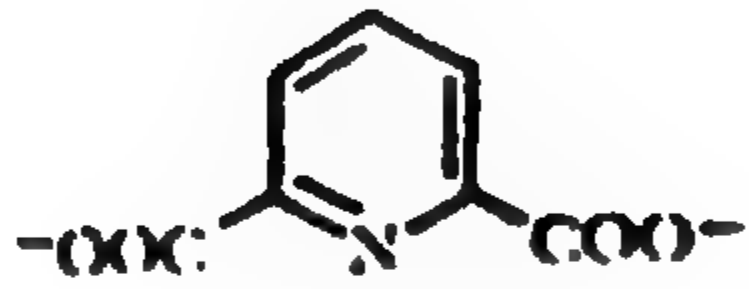


شكل ١-٢٩ : نماذج مختلفة للجراثيم الداخلية للبكتيريا ، وفيها تبدو الجراثيم كأجسام لامعة تحت المجهر .

شكل ١-٣٠ : صورة بالمجهر الالىكترونى للجرثومة البكتيرية الداخلية :
أ- خطوات تكوين الجرثومة داخل الخلية الخضرية لبكتيريا باسيلس ستيليس *Bacillus subtilis*
ب - جرثومة كاملة لنفس البكتيريا . . .



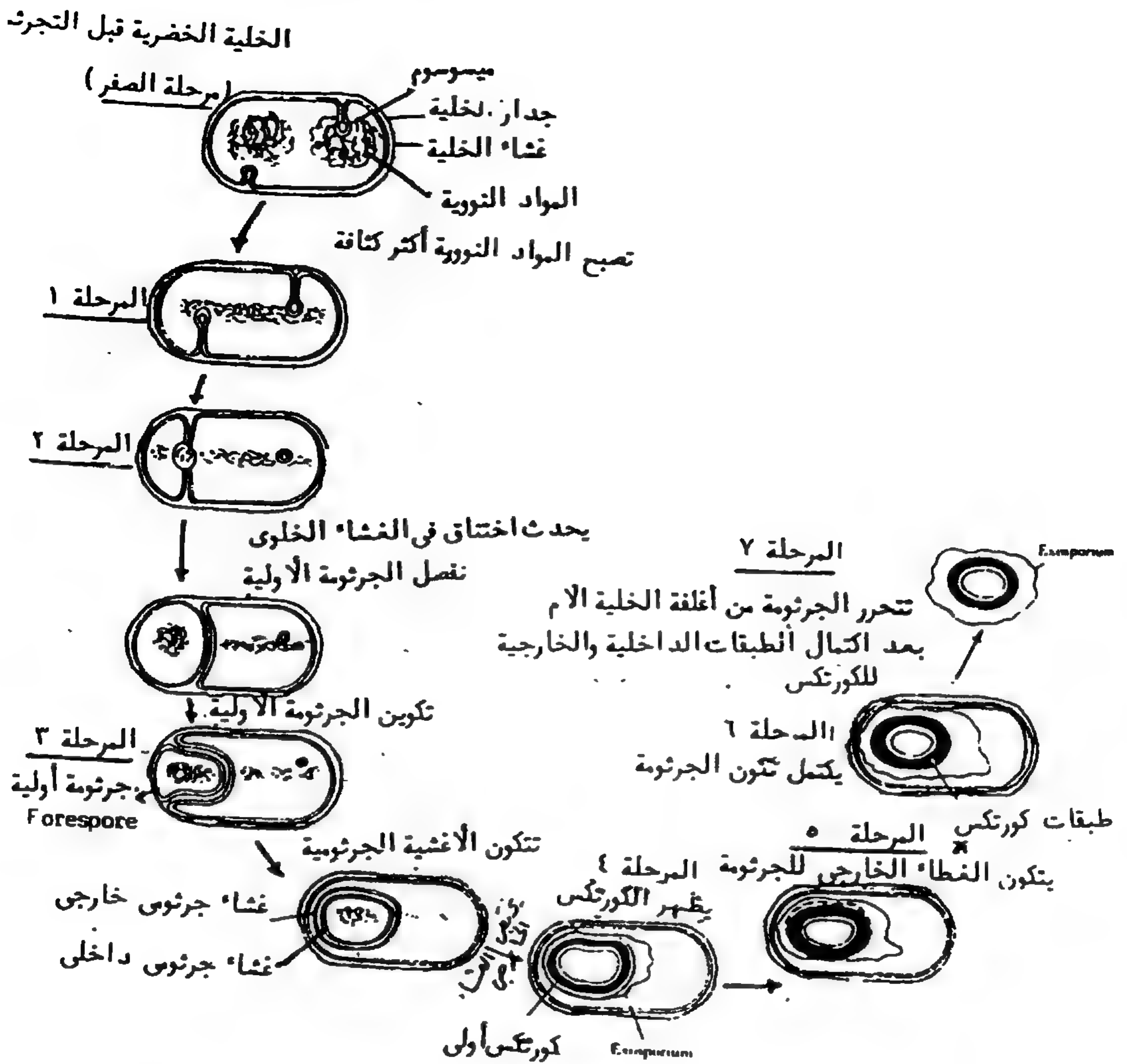
وقد وجدت مادة كيميائية تسمى حمض داي بيكولينك Dipicolinic acid ويرمز لها بالرمز DPA في كل الجراثيم ، وهذه المادة ليست موجودة في الخلايا الخضرية . وربما توجد هذه المادة (DPA) في طبقة اللب Core . كما أن الجراثيم تحتوى أيضا على نسبة عالية من أيونات الكالسيوم الذى يوجد معظمه أيضا في طبقة اللب Core وربما متحدا مع مادة DPA المذكورة . وهناك من الأسباب ما يجعلنا نعتقد أن الكالسيوم ومادة DPA هما المسئولان عن مقاومة الجراثيم الشديدة للحرارة (شكل ٩-٣١) .



شكل ٩-٣١ : شكل توضيحي للتركيب البنائى لحمض داي بيكولينك DPA

ويمكن مشاهدة التغيرات التى تحدث في الخلية عند تحولها الى جرثومة بواسطة المجهر الالكترونى ، وذلك بتعريض الخلية لظروف غير ملائمة مثل نقص الغذاء (أو التجويع) فبدلا من الانقسام تتجه الخلية الى عدد من التفاعلات المعقدة التى تنتهى بتكوين الجرثومة (شكل ٩-٣٢) .

هذا . . . ويختلف موقع الجرثومة من الخلية المكونة لها (أو الكيس الجرثومى) Sporangium في الأصناف المختلفة من البكتيريا كما سبق ذكره ، فقد تكون الجرثومة طرفية أو وسطية أو تحت طرفية ، وقد تنتفخ الجرثومة Swollen spore أو تظل في نفس الجسم الطبيعى (شكل ٨-٤ج) وقد تظل الجرثومة ساكنة أو كامنة Dormant لعدد من السنين اذا لم تتوفر الظروف المناسبة ، ولكن عند توفر الظروف المناسبة للنمو — تتحول الجرثومة الى الحالة الخضرية (شكل ٩-٣٣) وقد يتم هذا التحول في وقت قصير لا يتعدى دقائق معدودة ، وقد يستغرق هذا التحول وقتا طويلا ، وتسمى هذه العملية (التحول من الصورة الجرثومية الى الصورة الخضرية) باسم انبات الجراثيم Spore germination .



شكل ١-٣٢: رسم توضيحي لخطوات تكوين الجراثومة.

ويتم انبات الجراثيم في خطوتين : وقف الكمون (السكون) ثم بدء النمو Out growth والخطوة الأولى (وقف الكمون) تتم نتيجة أى ظروف بيئية منشطة مثل التعرض لحرارة مرتفعة . فتعرض الجراثيم لدرجات حرارة ٦٠-٧٠°م كفيل بوقف مرحلة الكمون ، ويمكن الاستدلال على ذلك بفقد اللعان الخاص بالجرثومة .

وتقبل الصيغ وتتناقص مقاومة الحرارة ، وتتفتح الجراثيم وينكسر غطاؤها
ثم تبدأ الخلية الخضرية في الاندفاع الى خارج غطاء الجراثيم



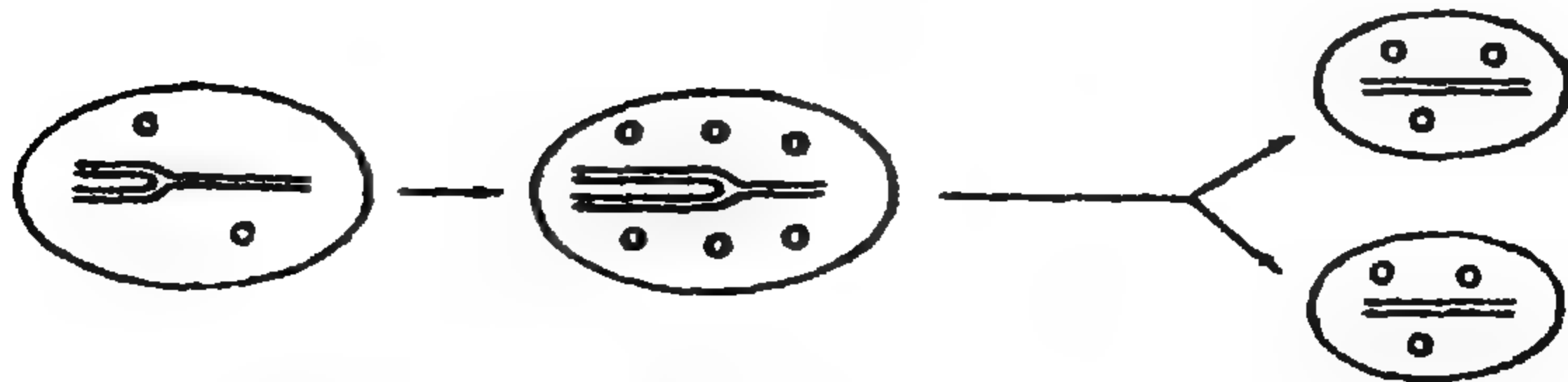
شكل ١-٣٣: صورة مجهرية توضح خطوات انبات الجرثومة .
اختفاء اللبمان ثم الانبات وتكوين خلايا خضرية .

Spore coat وتبدأ النمو Out growth ثم الانقسام . . أما غطاء
الجرثومة فعادة ما يتحلل بالانزيمات الموجودة ويختفى .

٥. البلازميدات Plasmids

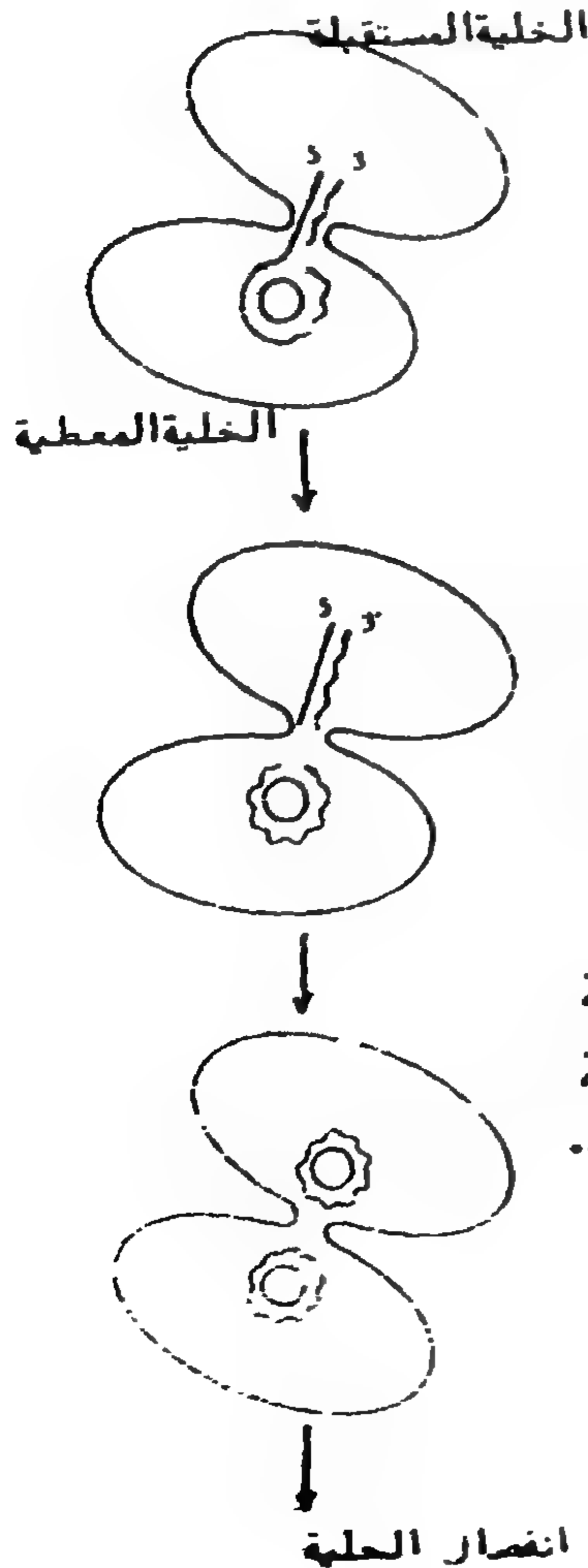
يمكن تعريف البلازميدات على أنها تركيبات وراثية غير كروموسومية
عبارة عن جزيئات صغيرة من الحمض النووي DNA تتضاعف أو تنسخ
مستقلة عن الكروموسوم (شكل ١-٣٤) . علاوة على ذلك فان من أهم
صفات البلازميدات ما يلي :

- (١) البلازميدات عموما تقل عن $\frac{1}{10}$ من حجم كروموسوم الخلية ،
ويتراوح وزنها الجزيئي بين $10^3 \times$ في البلازميدات الصغيرة إلى
 $10^8 \times$ في البلازميدات الكبيرة .



شكل ١-٣٤: رسم توضيحي لتضاعف البلازميدات مستقلة عن الكروموسوم .

(٢) البلازميدات الكبيرة مثل العامل الجنسي Sex factor وبعض عوامل المقاومة Resistance factor والتي تسمى R factor تحتوي على مورثات (جينات) خاصة تمكنها من الانتقال من خليتها (الخلية المعلقة المعطية Donor cell) الى خلية أخرى (الخلية المستقبلة Recipient cell) ولذلك تسمى هذه البلازميدات بلازميدات الاتصال Conjugative Plasmids كما تسمى أيضا البلازميدات المعدية Infectious Plasmids نظرا لأن الصفات الوراثية التي تحملها هذه البلازميدات تظهر في الخلايا المستقبلة (شكل ٩-٣٥) مثلها في ذلك مثل الأمراض المعدية Infectious diseases .



شكل ٩-٣٥ : تضاعف البلازميد وفقا لنموذج الدائرة المتدحرجة Rolling circle model في المرحلة الأولية تفتح إحدى السلسلتين في الخلية المعطية وتبدأ في الانتقال الى الخلية المستقبلة وتتضاعف أثناء انتقالها الى الخلية المعطية لتكون جزئياً مزدوج السلسلة ويتحول الى حلقة ، أما السلسلة الثانية والتي تظل حلقة فانها تتضاعف مكونة جزئياً بلازميد كامل حلقي ...

وفي المرحلة الأخيرة تكون كلا من الخلية المستقبلة والمعطية محتويتين على نسخة كاملة من البلازميد ثم تنفصل الخليتين المتزاوجتين ..

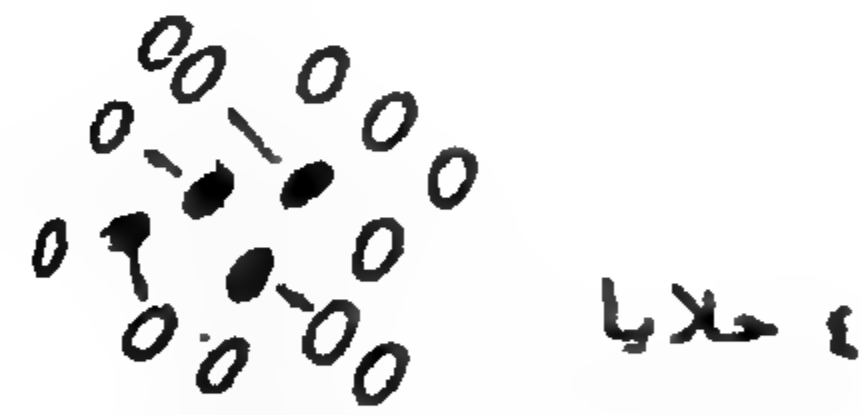
وفيما يلي نورد شرحا مختصرا لهذه النوعين من البلازميدات:

أ- العامل الجنسي Sex factor ويعرف أحيانا باسم الايبيسوم Episome (وقد بدأت كلمة الايبيسوم تختفى في السنوات الأخيرة) كما يسمى أيضا بعامل الخصوبة F. factor (وترمز F الى Fertility ومعناها الخصوبة) وأحيانا يسمى F1 factor وهو يوجد في الخلايا المذكرة Male cells فقط والتي يرمز لها بالرمز F^+ ولا يوجد في الخلايا المؤنثة Female cells والتي يرمز لها بالرمز F^- وله وزن جزيئي مقداره 5×10^6 الى 7×10^6 ويحتوى على حوالي 100 مورث (جين) ، وبعض هذه المورثات مسئول عن بناء الزوائد الجنسية Sex Pili والبعض الآخر مسئول عن نقل نسخة من هذا العامل الجنسي من الخلية المذكرة F^+ cell (وتسمى في هذه الحالة الخلية المعطية Donor cells) الى الخلية المؤنثة F^- cell (وتسمى في هذه الحالة الخلية المستقبلة Recipient cell) خلال عملية التزاوج Conjugation.

وعند انتقال نسخة من العامل الجنسي Sex factor الى الخلايا المستقبلة فان تلك الخلايا المستقبلة تكتسب صفة القدرة على اعطاء بلازميدات (أى تصبح خلايا مذكرة أيضا) . لذلك تسمى هذه البلازميدات بالبلازميدات المعدية Infectious Plasmids أو بلازميدات الاتصال Conjugative Plasmids.

ب- عوامل المقاومة Resistance factors ويرمز لها بالاسم R Factors وهي ذات وزن جزيئي مماثل للوزن الجزيئي للعامل الجنسي السابق الذكر . كما تحمل مورثات (جينات) خاصة مسئولة عن انتقال هذه البلازميدات من الخلايا المعطية Donors الى الخلايا المستقبلة Recipient . وهذا النوع من البلازميدات على درجة كبيرة من الأهمية . . . فهي تحمل جينات وراثية (مورثات) مسئولة عن انتاج انزيمات محللة للمضادات الحيوية . وبذلك فان البكتيريا التي تحمل هذه البلازميدات لا تتأثر بمضادات حيوية فعالة ضد البكتيريا مثل الاستربتومايسين Streptomycin والكلورامفينيكول Chloramphenicol والتتراسيكلين Tetracycline وغيرها مثل السلفانيلاميد

Sulfanilamide . وعند انتقال هذه البلازميدات الى خلايا مستقبلية حساسة لآى من هذه المضادات الحيوية ، فان الخلايا المستقبلية أيضا تكتسب صفة المقاومة للمضادات الحيوية أو تنتقل اليها عدوى مقاومة المضادات الحيوية ، ولذلك تسمى هذه البلازميدات أيضا بالبلازميدات المعدية Infectious Plasmids مثل ما حدث فى اليابان عام ١٩٥٥م عندما عزلت أول سلالة من ميكروب الاسهال *Shigella dysenteriae* المقاومة للمضادات المذكورة آنفا . ولم يكن معروفا قبل ذلك مقاومة هذا الميكروب لآى من المضادات الحيوية . واستمرت المقاومة للمضادات تنتشر بين سلالات هذا الميكروب حتى أصبحت نصف سلالات الشيغيلا *Shigella* المعزولة فى اليابان مقاومة لتأثير المضادات الحيوية . وتكرر ذلك فى أماكن أخرى مثل بريطانيا وغيرها (شكل ٩-٣٦) .



شكل ٩-٣٦ : انتقال البلازميدات المعدية وانتشارها يؤدي الى زيادة لوغاريتمية فى اعداد الخلايا التى تصبح موجبة بالنسبة لوجود البلازميد بها وذلك بمرور الوقت . . .

توجد عوامل مقاومة أخرى مثل عامل الكوليسين Col factor وعامل الكوليسين عبارة عن بلازميد يحتوى على جينات مسئولة عن انتاج مواد بروتينية سامة Toxins تسمى Colicins تنتجها بعض سلالات من

بكتيريا القولون E.coli ضد سلالات البكتيريا القريبة منها . وبكتيريا القولون E . coli تكون غير حساسة للمواد السامة (الكوليسيبن) الذى تفرزه .

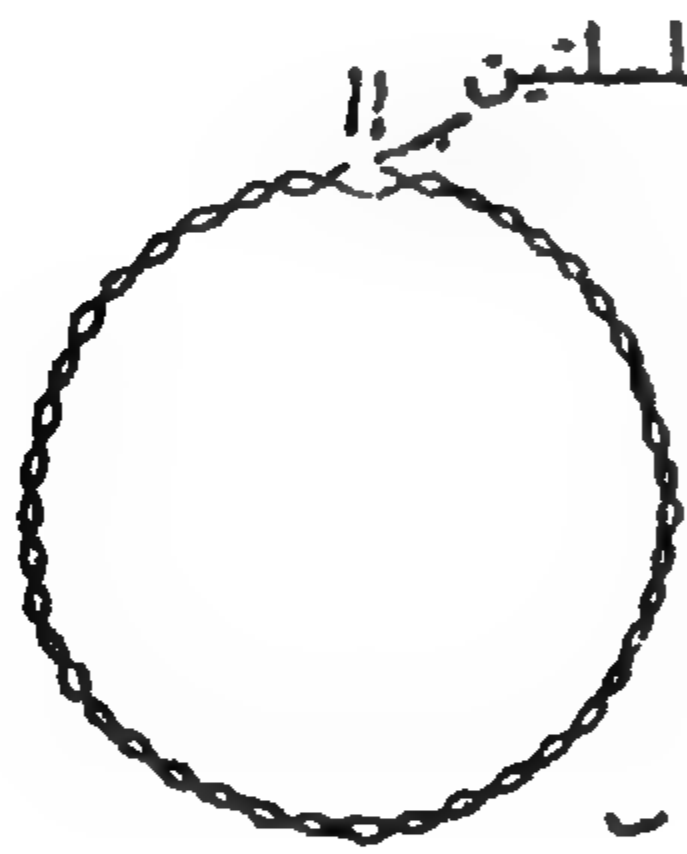
كما أن قدرة بكتيريا سودوموناس Pseudomonas على تحليل العديد من المركبات العضوية (غير القابلة للتحلل بواسطة العديد من الأحياء الدقيقة الأخرى) مثل الأوكتان Octane والساليسلات Salicylate والكامفور Camphor ترجع الى أن الانزيمات المسئولة عن تحطيم هذه المركبات تكون ناتجة عن مورثات (جينات) موجودة فى بلازميدات التحطيم Degradative Plasmids مثل بلازميد الأوكتان Octane Plasmid وبلازميد الساليسلات Salicylate Plasmid وبلازميد الكامفور Camphor Plasmid . وهذه البلازميدات تنتقل أثناء التزاوج بين الخلايا .

-- كما أن بكتيريا Staphylococcus aureus وهى ميكروب مرض هام بالنسبة للإنسان ، فهى تغزو الجروح بصفة خاصة وتكون الدامل ، وكانت تعالج كثيرا بالمضاد الحيوى البنسلين بنجاح تام ، ولكن ظهرت أول سلالة من هذا الميكروب مقاومة للبنسلين فى عام ١٩٥٠م ثم أصبحت معظم سلالات هذا الميكروب المعزولة فى جميع أنحاء العالم ذات مقاومة شديدة للبنسلين .

ويرجع ذلك لوجود بلازميد خاص يسمى عامل البنسلينيز Penicillin-nase factor يحتوى على مورثات (جينات) genes مسئولة عن إنتاج انزيم البنسلينيز Penicillinase الذى يحلل المضاد الحيوى البنسلين ، وبذلك لا تتأثر البكتيريا المذكورة بالبنسلين .

(٣) البلازميدات الصغيرة يوجد منها العديد فى الخلايا وهى عادة غير معدية Not infectious أى لا تنتقل من الخلية المعطية الى الخلية المستقبلة خلال عمليات التزاوج . أما البلازميدات الكبيرة فيوجد منها فى الخلية من ١-٣ بلازميدات ، وهى عادة معدية .

(٤) توجد معظم البلازميدات في الخلايا في صورة جزيئات دن أ DNA حلقى مزدوج السلسلة ملتف Supercoiled closed circular duplex وقد تنفصل إحدى السلسلتين تمهيدا لنقل نسخة من البلازميد الى الخلية المستقبلة خلال عملية التزاوج Conjugation . وعندئذ يسمى السلسلة الحلقية المفتوحة Open circular duplex وقد تفتح السلسلتين تمهيد لاتصال البلازميد مع كروموسوم الخلية في حلقة واحدة . والبلازميد المفتوح يأخذ الشكل المعروف بالسلسلة المستقيمة Linear duplex (شكل ٩-٣٧) .



شكل ٩-٣٧ : رسم توضيحي يبين جزيء دن أ الحلقى مزدوج السلسلة الملتف (أ) والحلقى المفتوح (ب) والمستقيم (ج) .



وكثيرا ما ينظر الى الفيروسات المعتدلة Temprate viruses على أنها بلازميدات . ولولا أنها تتحول من حالة الفيروسات المعتدلة الى حالة الفيروسات المحللة لا اعتبرت بالتاكيد بلازميدات كبيرة .

(٥) قد تتصل بعض البلازميدات بكروموسوم الخلية عن طريق عملية اتصال مزدوج (عبور وراثي) Cross over . وعند اتصال البلازميد مع كروموسوم الخلية فانه لا يتضاعف أو ينسخ مستقلا بذاته (كما سبق الاشارة اليه) بل يصبح تضاعفه أو تناسخه مرتبطا ارتباطا كليا بتضاعف كروموسوم الخلية - كما أن البلازميدات المتصلة (المتكاملة) Integrated

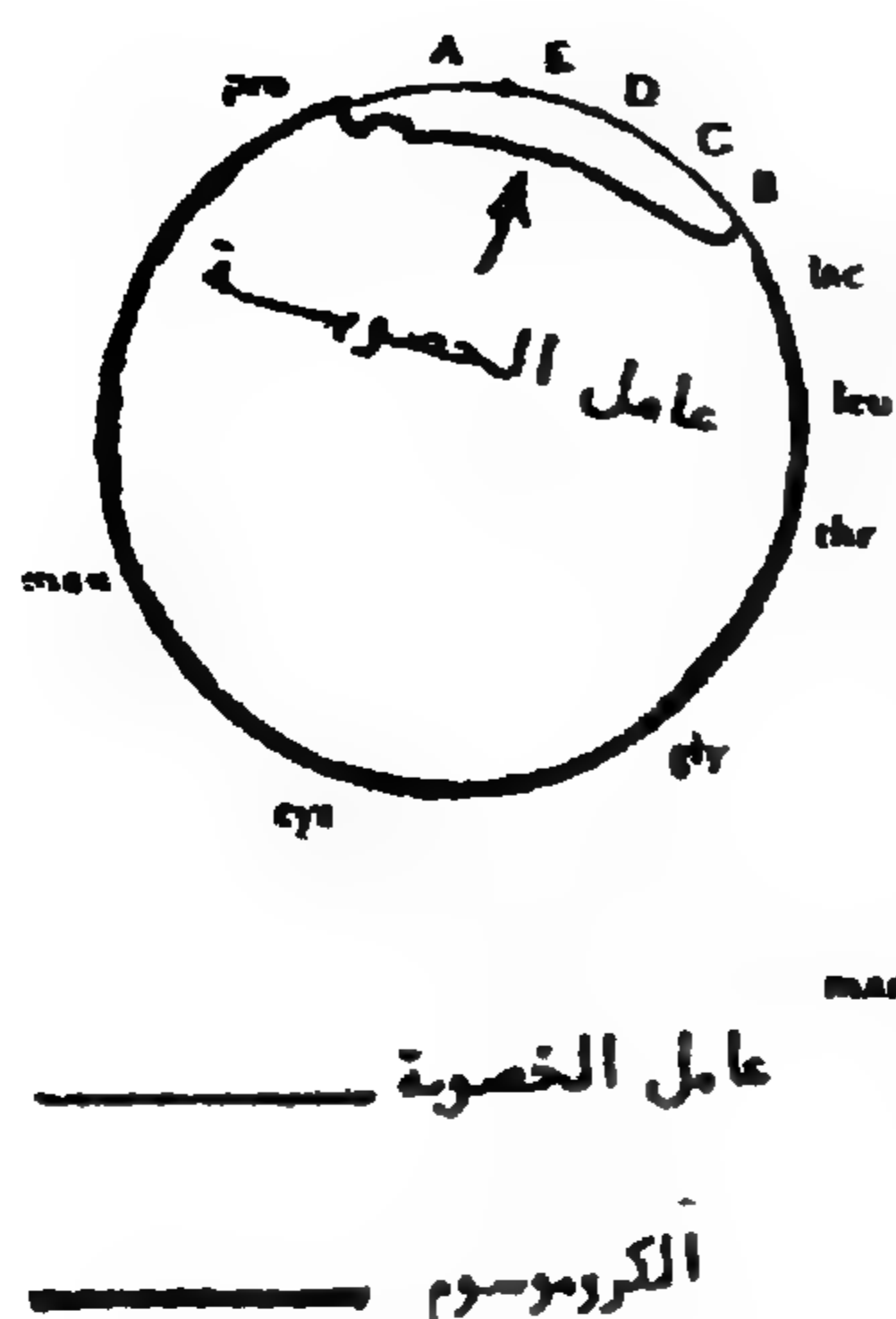
مع الكروموسومات يمكنها الانفصال عن الكروموسوم ، وفي هذه الحالة يمكنها استعادة استقلالية انقسامها وتكاثرها عن الكروموسوم .

وهذه الحالة الخاصة بقدرة البلازميد على الاتصال (التكامل) Integration مع كروموسوم الخلية تنطبق بصفة خاصة على العامل الجنسي Sex factor أو عامل الخصوبة F factor وعلى الفيروسات المعتدلة .Temprate viruses

وسيتم مناقشة الفيروسات المعتدلة في الباب السادس بالتفصيل ، أما ما يهمنا هنا هو اتصال Integration العامل الجنسي Sex factor في الخلايا المذكرة F^+ (ذو القدرة على الانتقال من الخلية المعطية الى الخلية المستقبلة أثناء التزاوج) مع كروموسوم الخلية عن طريق عملية اتصال مزدوج (عبور وراثي) Cross over

وتؤدي عملية الاتصال المزدوج (العبور الوراثي) هذه الى تكوين حلقة واحدة تحتوى على كلا من الكروموسوم والعامل الجنسي معاً . والخلايا التي يحدث فيها مثل هذا الاتصال تسمى خلايا ذات قدرة عالية على نقل الصفات الوراثية High Frequency recombinant ويرمز لها بالرمز Hfr . والخلايا ذات القدرة العالية على نقل الصفات الوراثية Hfr هي خلايا ذكورية اتصل فيها الكروموسوم بالعامل الجنسي . وهذا النوع من الخلايا على جانب كبير من الأهمية ، اذ أنه عند مـا تتزاوج خلاياه مع خلايا مؤنثة F^- فان العامل الجنسي والمتصل بالكروموسوم في الخلية المعطية — في هذه الحالة Hfr — ينفتح لتتوجه احدى السلسلتين الى الخلية المستقبلة F^- . واذا ترك التـزاوج مستمرا دون فصل لأزواج الخلايا لزمـن كاف فانه لا تنتقل فقط نسخة من العامل الجنسي ، بل أيضا تنتقل نسخة من كروموسوم الخلية المعطية الى كروموسوم الخلية المستقبلة . والجزء الأول من كروموسوم الخلية المعطية الذي يصل الى الخلية المستقبلة هو أقرب جزء من الكروموسوم عند اتصاله بالعامل الجنسي (شكل ٩—٣٨) .

شكل ٩-٣٨ : كروموسوم لخلية Hfr



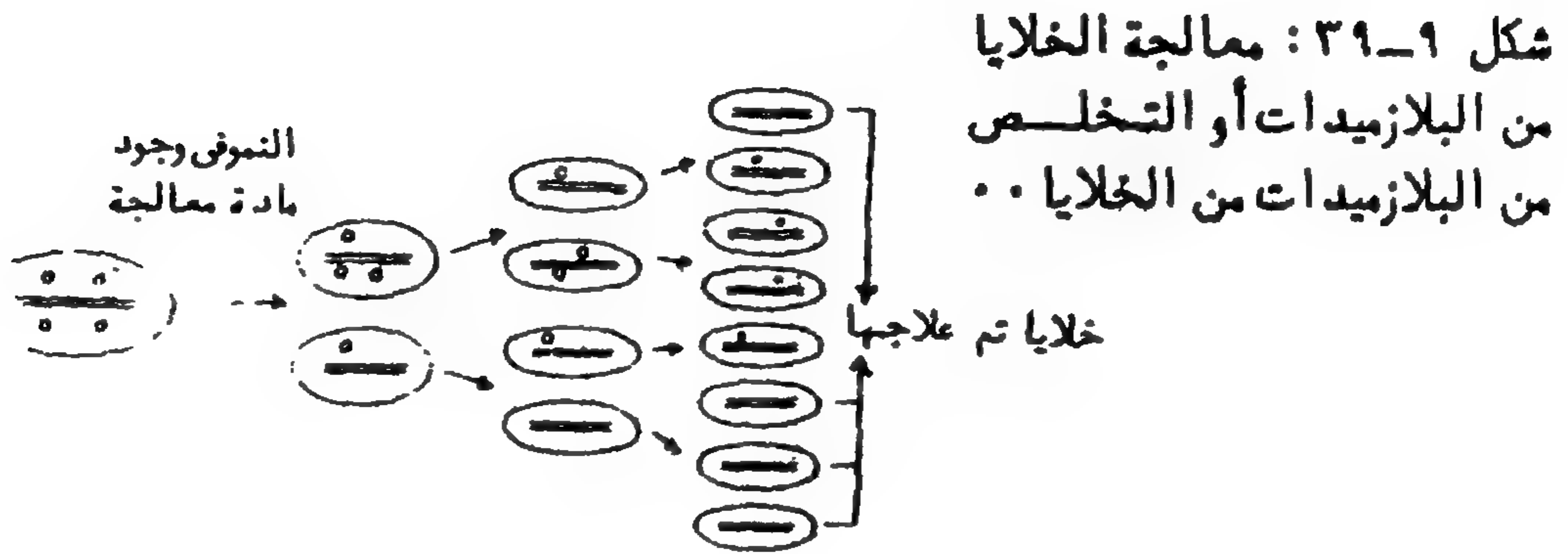
حيث يندمج الكروموسوم مع عامل الخصوبة ، وعند التزاوج وانفتاح احدى السلسلتين فان المورثات (الجينات) التي على الكروموسوم تنتقل مع عامل الخصوبة السددي ينتقل الى الخلية المستقبلة مؤديا الى انتقال بعض الصفات الوراثية من الخلية الممطية الى الخلية المستقبلة . .

فاذا عرف بالضبط موقع اتصال العامل الجنسي بالكروموسوم ورتبت ظروف خاصة في عمليات التزاوج أمكن معرفة تسلسل المورثات (الجينات) على كروموسوم الخلية وهذا بالفعل ما تم . وقد أمكن بذلك تحديد تسلسل المورثات (الجينات) على كروموسوم بكتيريا القولون *E. coli* وتسمى هذه العملية باسم رسم خريطة الكروموسوم Chromosome mapping وسنشرح هذه العملية بالتفصيل في الفصل التاسع عشر .

وينبغي الاشارة كما ذكرنا سابقا أن البلازميدات المتصلصة بالكروموسوم يمكنها الانفصال ثانية عنه وتستعيد بذلك استقلالية انقسامها وهذا ما يحدث أيضا بالنسبة للعامل الجنسي ، فقد ينفصل عن الكروموسوم في خلايا Hfr ليكون خلايا F^+ . وبذلك نجد أن كل مجتمع من خلايا F^+ يحتوى على نسبة من خلايا Hfr وكل مجتمع من خلايا Hfr يحتوى على نسبة من خلايا F^+ .

وعند انفصال العامل الجنسي عن الكروموسوم فانه ينفصل فسي أغلب الأحيان عند مكان اتصاله بالضبط . الا في حالات قليلة فيحمل معه قطعة من كروموسوم الخلية مكونا خلايا F' لتمييزها عن $F1$ والعامل F' يحمل صفات وراثية كروموسومية .

(٧) يمكن التخلص من البلازميدات في الخلايا بدون قتل الخلايا بواسطة عمليات مختلفة تسمى " المعالجة Curing " وتتنحصر تلك العمليات في تثبيط انقسام البلازميدات دون تثبيط مواز لانقسام الكروموسوم ، وكنتيجة للانقسام المستمر للخلايا يتم تخفيف البلازميدات في المستعمرة . وقد تحدث عملية المعالجة كطفرة عشوائية في الطبيعة ، ولكن يمكن المساعدة على حدوثها بنسبة كبيرة بالمعاملة بصبغات الاكريدن أو ملح برومور (بروميد) الايثيديم Ethidium bromide أو بمعاملات خاصة أخرى (شكل ١-٣٩) .

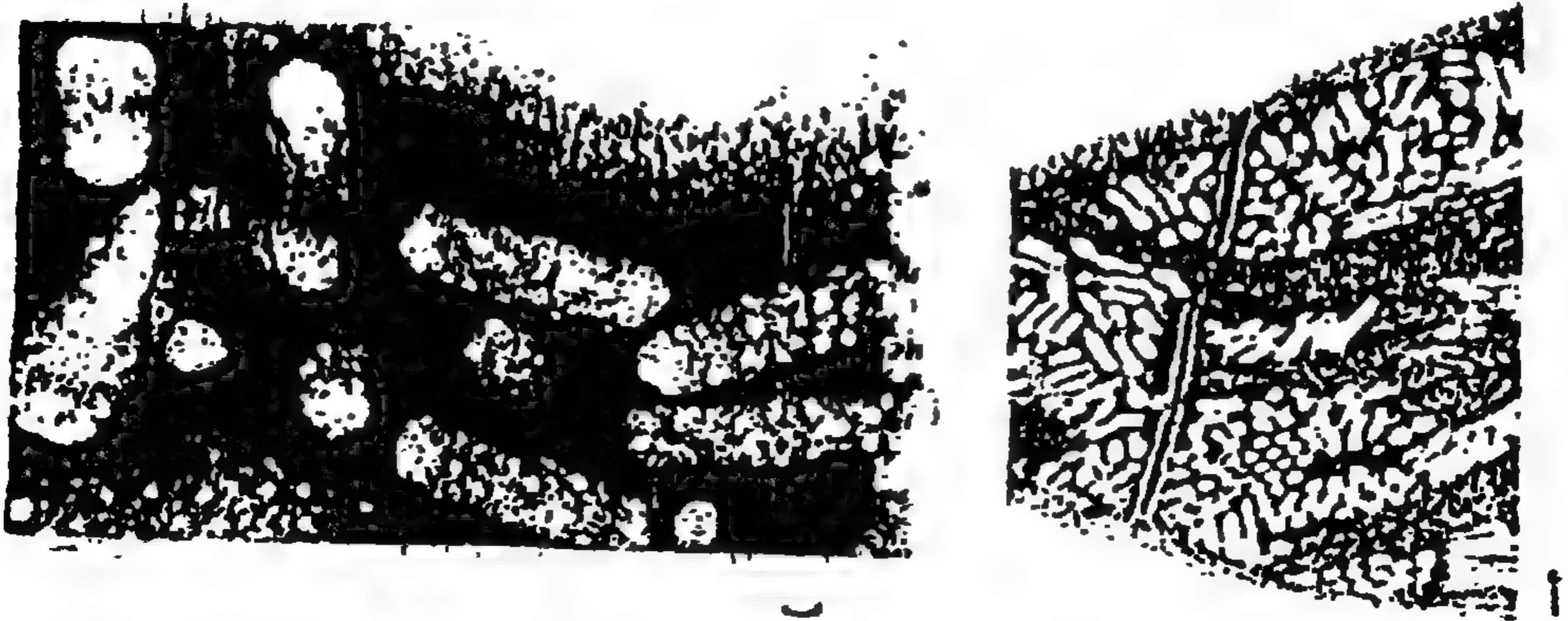


٦- المنجيات الغازية Gas vesicles

تعيش عدد من الكائنات ذات النواة البدائية طافية على سطح البحيرات والبحار بفعل فجويات غازية Gas vesicles ويختلط الأمر أحيانا بالنسبة لهذه الفجويات بحبيبات الفوليوتين وكان لفسظ فجويات غازية Gas vacules يستعمل في الماضي ، ولكن الفجويات الغازية Gas vesicles أصبح مفضلا الآن . وعندما تتجمع مجموعة من الفجويات الغازية Gas vesicles في مكان محدد من الخلية فإنه يطلق عليه اسم الفجوة الغازية Gas vacules . وأكثر الأمثلة وضوحا على

وجود الفجيات الغازية هو البكتيريا الخضراء المزرقة Blue green bacteria والتي تسمى الآن Cyanobacteria (وكانست تسمى في الماضي الطحالب الخضراء المزرقة Blue green algae) والتي تكون تراكبات كبيرة Blooms في البحيرات . وتطفو هذه البكتيريا على سطح البحيرات وتحملها الرياح في كتل كبيرة . وعند وضع عينة من مياه البحيرات المحتوية على هذه الكائنات في زجاجة فانها تطفو على السطح في مدى دقائق قليلة ولكن اذا تحطمت الفجيات الغازية فان هذه البكتيريا ترسب الى القاع .

والفجيات الغازية توجد في السيتوبلازم ، وهي ذات شكل مغزلي Spindle (شكل ٩-٤٠) مفرغ hollow ولكنه صلب Rigid وذو طول مختلف ولكنها ذات قطر ثابت ، وتتراوح من عدد قليل الى عدة مئات في الخلية الواحدة ، وغشاء هذه الفجيات لا يشبه الأغشية الخلوية ذات الطبقة الدهنية المزدوجة ، ولكنه يتكون من وحدات بروتينية مرتبة لتكون تركيبا صلبا . وغشاء الفجيات غير منفذ للماء أو المواد الذائبة فيه ولكنه منفذ للغازات فقط . وبذلك تكون هذه الفجيات الغازية محاطة بمكونات السيتوبلازم .

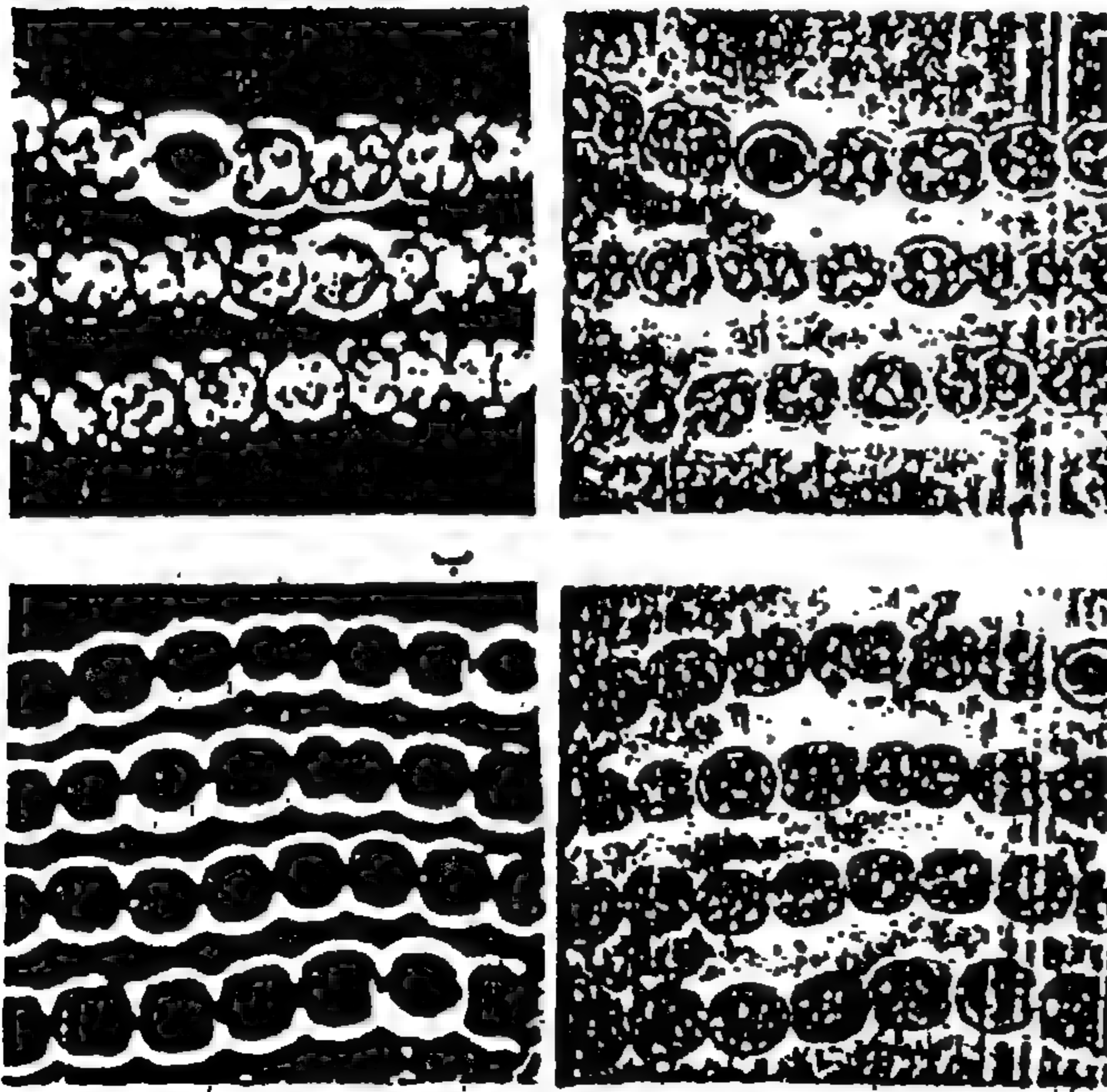


شكل ٩-٤٠ : صورة بالمجهر الالكتروني .
أ - قطاع رقيق من Oscillatoria يوضح التركيب الداخلي لفجيات الغاز الأسطوانية الشكل .
ب - فجيات الغاز المذكورة مصبغة صبغا سالبا ذات شكل صلب منتظم .

وهذه الصلابة لغشاء الفجیوات الغازية أساسية حتى تستطيع هذه الفجیوات مقاومة الضغط الواقع على جدرانها من الغاز الموجود بداخلها أو من خارجها ، وربما لهذا السبب لم يكن هذا الغشاء مماثلاً للأغشية الأخرى التي تتكون من الفوسفوليبيدات القابلة للتمدد والانكماش نتيجة للضغوط المختلفة عليها .

وعلى أى حال ، فإن قدرة الغشاء البروتينى لفجیوات الغاز ذو قدرة محدودة على تحمل الضغط وقد يتهشم Collapse مسبباً فقد الغاز ورسوب الخلايا الى القاع .

ويمكن رؤية فجیوات الغاز بواسطة المجهر (التباين) المميز للأطوار Phasecontrast أو المجال المضى ' Bright field (شكل ٩-٤١) .



شكل ٩-٤١ : خيوط البكتيريا الخضراء المزرقة *Anabaena* لتوضيح وجود فجیوات الغاز كما تم رؤيتها :
أ - بالمجهر الضوئى (الحقل المضى) .
ب - بمجهر التباين (المميز للأوساط) .
ج - نفس الخلايا بالمجهر الضوئى بعد تهشم الفجیوات .
د - نفس الخلايا بمجهر التباين بعد تهشم الفجیوات .

٧- الأجسام والمواد المخزنة Inclusions and reserve materials

يوجد أجسام ومواد أخرى يمكن رؤيتها بالمجهر الالكترونى أو الضوئى داخل الخلايا ذات النواه البدائية . وتختلف طبيعة هذه المواد باختلاف الكائن الحى الدقيق .

أ- المواد المخزنة العضوية غير النيتروجينية

يوجد نوعين من المواد المخزنة العضوية غير النيتروجينية ، كل منهما يمكن أن تمثل مخزنا للكربون أو الطاقة . وهما شائعين فى البكتريا (جدول ٩-٥) . الأول عبارة عن عديد التسكر المكون من وحدات جلوكوز مرتبطة بالرابطة ألفا ١-٤ جلوكان α 1-4 glucan مثل النشا والجليكوجين ، والثانى هو عديد الاستر للبيتا هيدروكس البيوتريك Polyester of β -hydroxybutyric acid ويسمى عديد بيتا هيدروكسى حمض البيوتريك Poly β -hydroxy butyric acid .

والنوع الأول من المواد المخزنة شائع أيضا فى الأحياء ذات النواه الحقيقية . أما الثانى فلا يوجد الا فى الأحياء الدقيقة ذات النواه البدائية . كما تتميز الكائنات ذات النواه البدائية بعدم تخزين الدهون المتعادلة مختلفة بذلك عن كثير من الأحياء ذات النواه الحقيقية .

وكقاعدة عامة يتكون نوع واحد من المواد المخزنة فى نوع معين من البكتيريا وعلى ذلك فعدد كبير من أنواع بكتيريا القولون Enteric bacteria والبكتيريا اللاهوائية المتجرمة التابعة لجنس كلوستريديم Clostridium تكون الجليكوجين أو النشا كمادة مخزنة بينما العديد من البكتيريا التابعة لسود وموناس Pseudomonas - ازوتوباكتر Azotobacter - اسبيريللام Spirillum - باسيلس Bacillus تكون البولى بيتا هيدروكسى حمض بيوتريك . وكخروج عن هذه القاعدة العامة يوجد عدد محدود جدا من البكتيريا يمكنه تكوين النوعين من مواد التخزين مثل

جدول ٩-٥ : توزيع المواد العضوية غير النيتروجينية المخزنة بين بعض
ذوات النواة البدائية

الجليكوجين	هيدروكسي بيوترات	جليكوجين + هيدروكسي بيوترات	لا يوجد مواد تخزين
البكتيريا الخضراء المزرقة	من بكتيريا الأمعاء	أفراد قليلة من البكتيريا الخضراء المزرقة	البكتيريا الخضراء
معظم بكتيريا الأمعاء Entric bacteria	بنكيا Beneckea Photobacterium فوتوباكتريم	البكتيريا المتفجئة المثلة للـ "سود"	المعدي من أفراد سود وموناس . Pseudomonas أسينتوباكتر Acinetobacter
ما عدا تلك التي تخزن	المعدي من سود وموناس Psuedomonas أزوتوباكتر Azotobacter		
هولي بيتاهيدروكسي			
بيوترات في العمود التالي			
معظم الباسيلي Bacillus			
والكلوستريديم Clostridium	Beijerinickia Derrxia Rhizobium Moraxilla Spirillum Sphaerotilus بعض أنواع Bacillus		

البكتيريا البنفسجية المثلثة للضوء .

تتوزع المواد المخزنة عديدة التسكر توزيعاً منتظماً الى حد ما في السيتوبلازم ويمكن الكشف عن ذلك بوضوح بالمجهر الالكتروني ، ولكن لا يمكن ملاحظته عادة بالمجهر الضوئي . ويمكن الكشف عن المواد المخزنة عديدة التسكر في الخلايا بالمعاملة بمحلول يود ذائب في محلول يوديد بوتاسيوم . وهذا المحلول يصبغ السلاسل غير المتفرعة من عديد الجلوكوز مثل النشا باللون الأزرق القاتم ، بينما يصبغ السلاسل المتفرعة من عديد الجلوكوز مثل الجليوكوجين باللون البني المحمر . . . أما حبيبات البولي بيتا هيدروكسي حمض البيوتريك فيمكن رؤيتها بسهولة بالمجهر الضوئي فتبدو كحبيبات لامعة ذات أحجام مختلفة مبعثرة في الخلية ، وهذه الحبيبات تصبغ بصبغة خاصة مثل صبغة أسود سودان Sudan black . وهذه الصبغة تصبغ أيضاً الدهون المخزنة في الأحياء الدقيقة ذات النواة الحقيقية .

ولهذا السبب فان مخزون البولي بيتا هيدروكسي حمض البيوتريك في بعض البكتيريا عرف خطأ على أنه دهون مخزنة . ولذلك تنص بعض المراجع على وجود دهون كمادة مخزنة في بعض أنواع البكتيريا .

وبصفة عامة ، فان هذه المواد المخزنة تكون قليلة في الخلايا النشطة النمو ولكنها تتراكم بكثرة في الخلايا التي تنمو في وسط محدود النيتروجين في وجود فائض من المصدر الكربوني . تحت هذه الظروف يقل بناء البروتين والأحماض النووية بينما يتحول الكربون الى مواد مخزنة قد تصل الى ٥٠% من الوزن الجاف للخلايا .

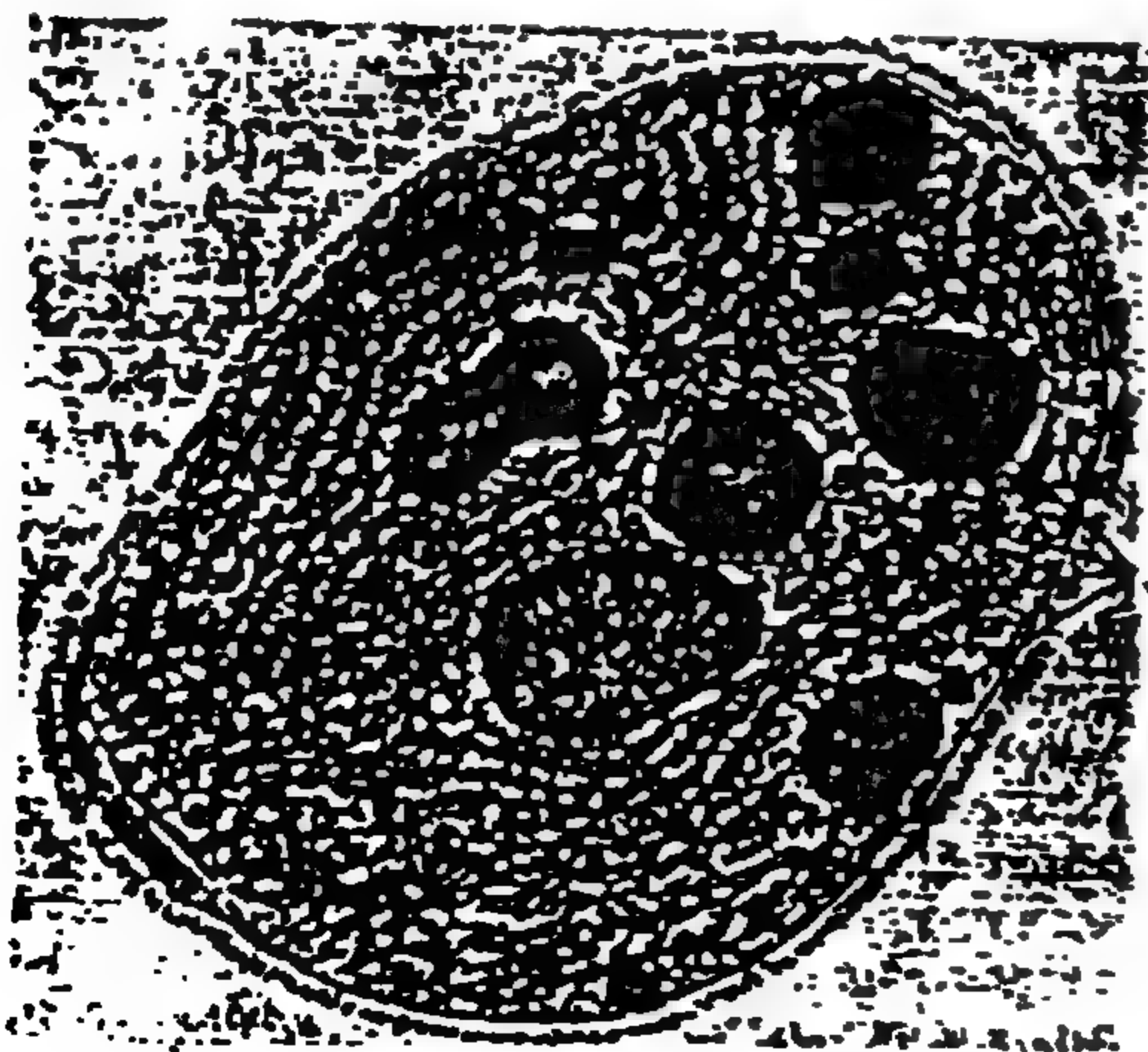
وانا حرمت مثل هذه الخلايا من مصدر الكربون وزودت بمصدر نيتروجيني قابل للاستعمال (مثل كلوريد الامونيوم) فان المواد المخزنة تستخدم لبناء البروتين والأحماض النووية . والأساس في تخزين عديد الجلوكوز أو البولي بيتا هيدروكسي حمض البيوتريك هو تخزين مواد خاملة اسموزيا حتى يمكن للخلية تخزين أكبر قدر منها دون التأثير على نشاطات الخلية المختلفة . أما بالنسبة لمادة البولي بيتا هيدروكسي

حمض البيوتريك فان تكوينها عن طريق روابط استرية لازالة الفعل الحمضي لمجموعة الكربوكسيل يشكل أهمية أخرى للمحافظة على درجة تركيز ايون الايدروجين pH في سيتوبلازم الخلية .

ولذلك فان تحويل كلا من الجلوكوز والبيتا هيدروكس حمض البيوتريك الى عديدات متكثفة يمنع حدوث تأثيرات فسيولوجية شديدة الضرر بالخلية لو استمر تراكم الجلوكوز وبيتا هيدروكسي حمض البيوتريك على صورتهم — دون تكثف في الخلية .

ب — المواد المخزنة النيتروجينية :

بصفة عامة لا تنتج البكتيريا مواد تخزين داخلية نيتروجينية . ولكن عددا من البكتيريا الخضراء المزرقة يتراكم بها مواد عضوية نيتروجينية — كمواد تخزين مثل تراكم مادة السيانوفايسين Cyanophycin عند ما تقترب المزرعة من طور الثبوت (السكون) Stationary Phase . وحبيبات السيانوفايسين لها تركيب مميز الشكل في صور المجهر الالكتروني (شكل ٩-٤٢) وقد تم عزلها ودراسة خواصها ، واتضح أنها تتكون من الأحماض الأمينية الهستدين والأرجنين . وقد تصل هذه المادة الى حوالي ٨٪ من الوزن الجاف للخلية ولكنها سرعان ما تختفى عند بداية النمو ثانية . ولا تتكون هذه المادة على نظام بناء بروتينات الخلية حيث أنها تتراكم بعد ايقاف نظام بناء البروتينات الخلوية بواسطة الكلورامفينيكول Chloramphenicol .



شكل ٩-٤٢ : صورة بالمجهر الالكتروني للبكتيريا الخضراء المزرقة والتي تحتوى على السيانوفايسين

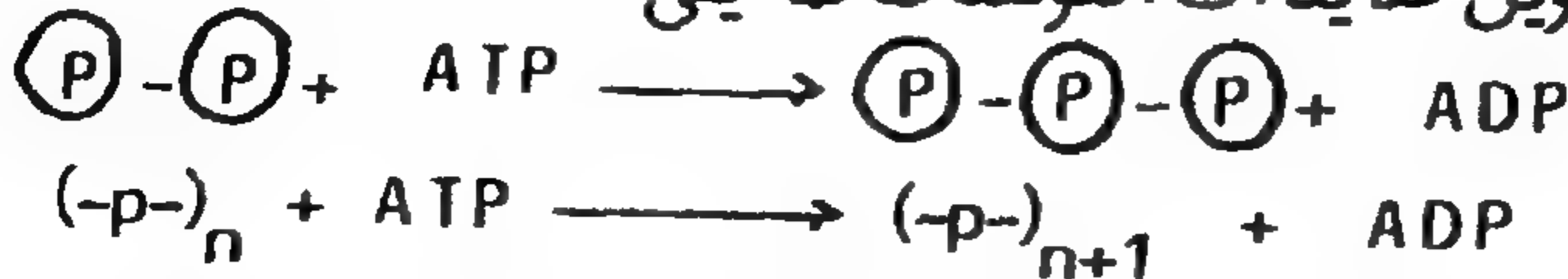
جـ - حبيبات الفوليوتين : Volutin granules

يقوم عدد كبير من الأحياء الدقيقة ذات النواه البدائية وذوات النواه الحقيقية بتخزين حبيبات الفوليوتين التي تصبغ بالصبغات القاعدية مثل أزرق التوليدين Toluidin blue أو أزرق الميثلين Methylene blue (شكل ٩-٤٣).



شكل ٩-٤٣ : صورة لتوضيح حبيبات الفوليوتين في بكتيريا سبيريللم والمصبوغة بصبغة أزرق الميثلين .

وتسمى هذه الحبيبات أحيانا الحبيبات الملونة Metachromatic granules نظرا لخاصيتها في تغيير اللون ، فهي تظهر حمرا عند ما تصبغ بصبغة زرقا . وتبدو هذه الحبيبات كثيفة جدا في صور المجهر الالكتروني لوجود كميات كبيرة من الفوسفات غير العضوية بها . . وهي تتكون من سلاسل مستقيمة ذات أطوال مختلفة من عديدات الأرتوفوسفات (البلمرة Polymer) وتتكون حبيبات الفوليوتين في الخلايا نتيجة عدم تزويد الخلايا بأى من عدد من العناصر الغذائية . وعدم تزويد الخلايا بالكبريتات Sulfates starvation بالذات ذات تأثير واضح في توجيه الخلايا لتخزين الفوليوتين . وعند اضافة الكبريتات ثانية فإن حبيبات الفوليوتين تختفى وتتجه الفوسفات المتكونة عنها لبناء الأحماض النووية . ويتم تكوين عديدات الفوسفات كما يلي :



ويؤدي تحليل عديد الفوسفات (الفوليوتين) الى انتاج ATP كما يلي :



حيث ترمز \textcircled{P} الى مجموعة فوسفات ، ADP الى أدينوزين ثنائى الفوسفات ، ATP الى أدينوزين ثلاثى الفوسفات .

Sulfur granules

د - حبيبات الكبريت

تتكون أحيانا حبيبات من الكبريت غير العضوى فى مجموعتين بكتيريتين وهما :

* بكتيريا الكبريت البنفسجية : Purple sulfur bacteria

هذه المجموعة من البكتيريا تستعمل كبريتور الأيدروجين بدلا من الأكسجين كمستقبل للالكترونات فى نهاية خطوات التنفس.

* البكتيريا الخيطية غير المثلة للضوء مثل البيجياتوا Biggiatoa والثيوثرريكس Thiothrix.

وهذه المجموعة من البكتيريا تستعمل كبريتور الأيدروجين ايضا كمادة قابلة للأكسدة لانتاج الطاقة.

يتم تكوين حبيبات الكبريت فى هاتين المجموعتين من البكتيريا بصفة مؤقتة ، ويتكون عند وجود كبريتور الأيدروجين فى وسط النمو ، ولكن عند اختفائه فان الكبريت يتأكسد الى الكبريتات Sulfates.

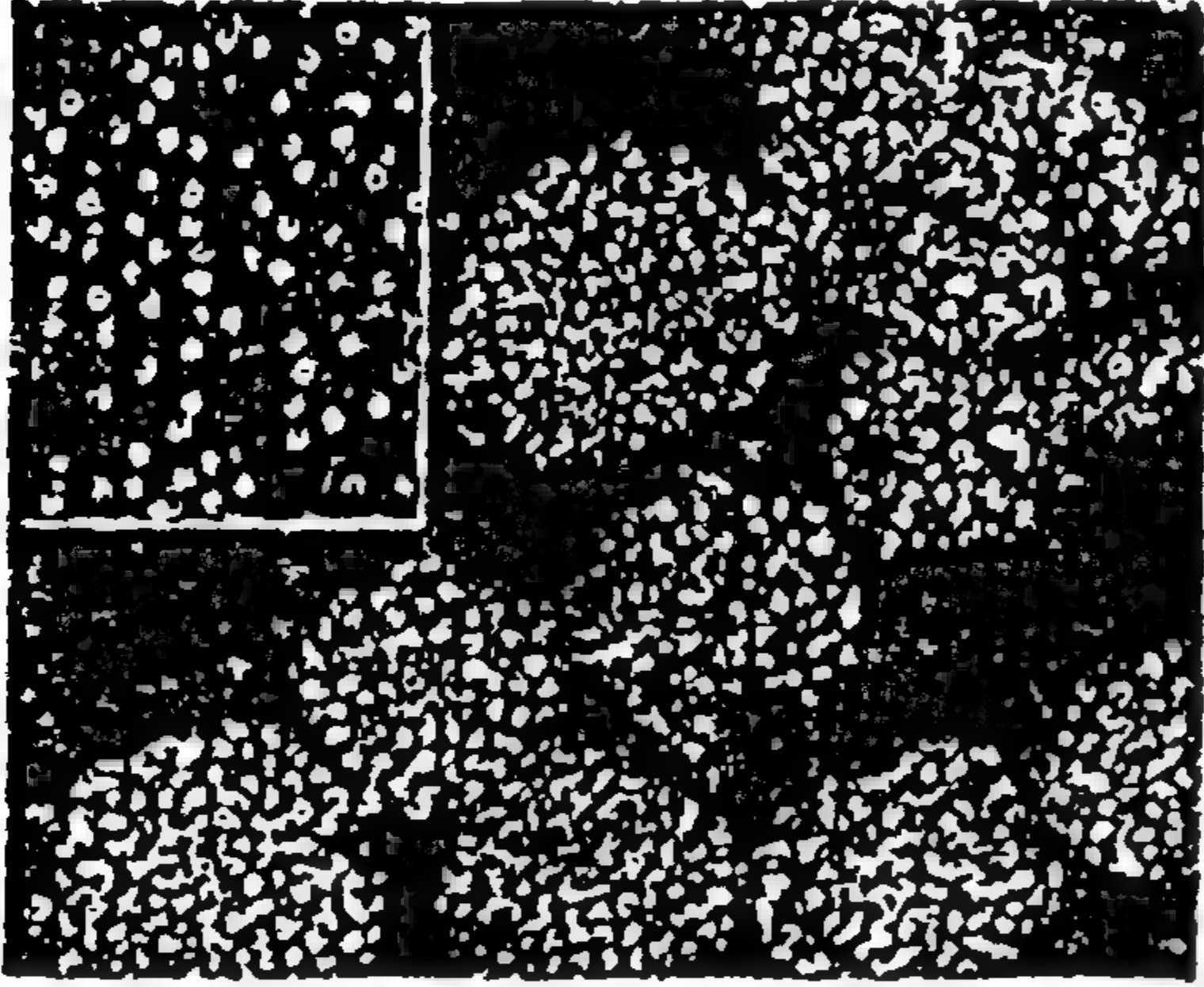
هـ - أجسام أخرى

تحتوى بعض البكتيريا على أجسام أخرى مثل الكاربوكسيسومات Carb-oxyosomes وفجيووات الكلوروبيوم Chlorobium vesicles وفيما يلى شرح كلاهما:

الكاربوكسيسومات Carboxysomes

ويحتوى عدد من البكتيريا الخضراء المزرقه (السيانوبكتيريا) وأفراد من البكتيريا المثلة للضوء البنفسجية وعدد آخر من البكتيريا ذاتية التغذية غير المثلة للضوء Chemolithotrophic على أجسام خاصة ذات أشكال متعددة الأوجه Polyhedron يتراوح قطرها من ٥٠ الى ٥٠٠ نانومتر ومحاطة بغشاء وحيد الطبقة Monolayer سمكه ٣,٥ نانومتر.

ومكونات هذه الأجسام ذات تركيب حبيبي (شكل ٩-٤٤) . وقد عزلت هذه الأجسام ووجد أنها تحتوى على محتويات الخلية من انزيم الريبيلوز ثنائى الفوسفات كاربوكسيليز Ribulose diphosphate carboxylase ويسمى أحيانا كاربوكسى ديسميوتيز Carboxydismutase وهذا هو الانزيم الاساسى المرتبط بتثبيت ثانى أكسيد الكربون CO_2 خلال دورة كالفين-بنسون . وفيما يبدو أن حبيبات الكاربوكسيسومات هى موقع تثبيت ثانى أكسيد الكربون فى الخلية البكتيرية فى الأنواع ذاتية التغذية المذكورة سابقا .



ب - صورة بالمجهر الالىكترونى للتحضير
من الكاربوكسيسومات
مصبوغة بالصيغ السالب

أ - صورة بالمجهر الالىكترونى للخلية
توضح العدد الكبير من هذه الأجسام

شكل ٩-٤٤ : صورة مجهرية
للكاربوكسيسومات فى بكتيريا ثيوباسيليس
Thiobacillus neapolitanus

فجيات الكلوروبيم Chlorobium vesicles

تحتوى مجموعة واحدة من البكتيريا وهى البكتيريا الخضراء المثلثة للضوء على نظام خاص للتمثيل الضوئى وهى ذات شكل يشبه السيجار مرتبة فى طبقة منفصلة مميزة تحت الغشاء الخلوى (شكل ٩-٤٥) ويمكن رؤية هذه الأجسام بالمجهر الالكترونى فقط، ويبلغ عرضها حوالى ٥٠ نانوميتر بينما تبلغ فى الطول ١٠٠ الى ١٥٠ نانوميتر . ويحيط بها غشاء وحيد الطبقة Monolayered يتراوح فى السمك من ٣-٥ نانوميتر .



شكل ٩-٤٥ : صورة بالمجهر الالكترونى لفجيات الكلوروبيم المحضرة من بكتيريا كلوروبيم ثيوسلفاتوفيلم Chlorobium thiosulfatophilum مصبغة بالصبغ السالب بالفوسفوتنجستات .

وتحتوى هذه الأجسام على كل صبغات التمثيل الضوئى .

ولذلك تتفرد هذه المجموعة من البكتيريا عن غيرها من سائر الأحياء الدقيقة ذات النواة البدائية بتخصيص جسم خاص لأداء وظيفة معينة ، وهى التمثيل الضوئى . Photosynthesis .

والجدول (٩-٦) يوضح الفروق بين الأحياء الدقيقة الخلوية بدائية النواة وحقيقية النواة .

جدول ٩-٦ : الفروق بين الأحياء الدقيقة الخلوية بدائية النواة وحقيقية النواة . . .

حقيقية النواة	بدائية النواة
<p>النواة حقيقية (يوجد غشاء نووى)</p> <p>عدد (أكثر من واحد) من الكروموسومات .</p> <p>الكروموسومات تحتوى على هستونات .</p> <p>دن أ يوجد فى النواة الحقيقية ، كذلك فى الميتوكوندريا والبلاستيدات .</p> <p>التكاثر عادة بالانقسام غير المباشر Mitoses . وفى حالات قليلة بالتبرعم .</p> <p>يتكون مغزل (من أنابيب دقيقة) عند الانقسام .</p> <p>آلية التبادل الوراثى باتحاد الجاميطات Fusion of gametes</p> <p>يؤدى اتحاد الجاميطات الى تضاعف عدد الكروموسومات فيتكون زيجوت (لاقحة) ثنائية الصبغيات Diploid . وبذلك فان الخلايا توجد فى الحالة أحادية الصبغيات Haploid أو ثنائية الصبغيات Diploid .</p> <p>توجد نويات .</p> <p>توجد شبكة اندوبلازمية</p> <p>توجد أجسام جولجى .</p> <p>قد يوجد ليسوسومات .</p> <p>يوجد ميتوكوندريا .</p>	<p>١- النواة بدائية (لا يوجد غشاء نووى)</p> <p>٢- كروموسوم واحد يحمل جميع الصفات الوراثية .</p> <p>٣- الكروموسومات لا تحتوى على هستونات .</p> <p>٤- دن أ يوجد فى النواة البدائية + عدد مسن البلازميدات .</p> <p>٥- التكاثر بالانقسام الثنائى البسيط (المباشر) . وفى حالات نادرة بالتبرعم .</p> <p>٦- لا يتكون مغزل عند الانقسام .</p> <p>٧- آلية التبادل الوراثى بأحد الطرق الآتية :-</p> <p>- النقل المباشر Transformation</p> <p>- بالتزاوج Conjugation</p> <p>- بالحمل بالفاج Transduction</p> <p>٨- يؤدى التبادل الوراثى الى تكوين لاقحة (زيجوت) جزئى Partial zygote . ويكون ازدواج الصبغيات جزئى فى بعض المورشات فقط .</p> <p>٩- لا توجد نويات</p> <p>١٠- لا توجد شبكة اندوبلازمية Edoplasmic reticulum</p> <p>١١- لا توجد أجسام جولجى .</p> <p>١٢- لا يوجد ليسوسومات</p> <p>١٣- لا يوجد ميتوكوندريا .</p>

تابع جدول ١-٦ : الفرق بين الأحياء الدقيقة الخلوية بدائية
النواة وحقيقية النواة .

بدائية النواة	حقيقية النواة
١٤- لا يوجد بلاستيدات خضراء في الأحياء المستقلة للصوم .	يوجد بلاستيدات خضراء في الأحياء المستقلة للصوم .
١٥- الريبوسومات في الميتوبلازم من نوع ٧٠ س	ريبوسومات الميتوبلازم من نوع ٨٠ س .
١٦- وحدة العشاء توجد في العشاء الخلوي فقط .	وحدة العشاء توجد في العشاء العائلي والعضيات مثل غشاء النواة وغشاء الميتوكوندريا وغشاء البلاستيدات .
١٧- لا توجد حركة ميتوبلازمية داخلية .	توجد حركة ميتوبلازمية داخلية تسمح بحركة الأحياء الدقيقة كما في البروتوزوا . وكذلك تؤدي الحركة الميتوبلازمية إلى حركة بعض العضيات الهامة مثل أجسام جولجي وعمرها في الخلايا .
١٨- يحتوى العشاء الخلوي على أنظمة توليد الطاقة المقابلة للميتوكوندريا في حقيقية النواة ويحتوى أيضا على أنظمة التمثيل الضوئي المقابلة للبلاستيدات الخضراء في حقيقية النواة .	أنظمة توليد الطاقة لها عضيات مستقلة بذاتها ، وهي الميتوكوندريا . كما أن أنظمة التمثيل الضوئي في الأحياء المستقلة للصوم يتم في عضيات مستقلة وهي البلاستيدات ، أما العشاء الخلوي فلا يقوم بهذه الوظائف .
١٩- لا يحتوى العشاء الخلوي على ستيرولات (ما عدا بكتيريا الميكوبلازما) .	يحتوى العشاء الخلوي على ستيرولات .
٢٠- الأنظمة التالية غير معروفة في بدائية النواة :- الابتلاع Phagocytosis الشرب Pinocytosis الفجوات العدائية Food vacuoles الفجوات المنقبضة Contractile vacuoles الهضم الداخلي Intracellular digestion	الأنظمة التالية معروفة ، وقد تكون موجودة في حقيقية النواة :- الابتلاع الشرب الفجوات العدائية الفجوات المنقبضة الهضم الداخلي

تابع جدول ٩-٦ : الفروق بين الأحياء الدقيقة الخلوية بدائية
النواة وحقيقية النواة .

بدائية النواة	حقيقية النواة
٢١- يحتوى الجدار الخلوى على مادة الهيتيد وجلليكان .	لا يحتوى الجدار الخلوى - ان وجد - على مادة الهيتيد وجلليكان .
٢٢- يوجد بالجدار الخلوى أحماض أمينية من نوع D .	لا يحتوى الجدار الخلوى على أحماض أمينية من نوع D .
٢٣- الحركة عادة بالأسواط ، وفى حالات نادرة بالانزلاق Gliding	الحركة اما بالأسواط أو الأهداب أو الأقدام الكاذبة .
٢٤- الأسواط عبارة عن أسطوانة حلزونية دقيقة من وحدات بروتين الفلاجين Flagellin تمتد من خلال الجدار الخلوى ومشبهة بجهاز تثبيت خاص .	الأسواط تتركب من تسع أزواج من الليفات الدقيقة Microtubules مرتبة فى اسطوانة يوجد فى مركزها زوج عاشر من هذه الألياف ويغلفها كلها امتداد للغشاء الخلوى .
٢٥- مواد التخزين عادة من البولى بيتا هيدروكسى بيوترات أو الجليكوجين أو الفوليبوتين .	مواد التخزين عادة من النشا أو الدهون أو الجليكوجين أو الفوليبوتين .
٢٦- صغيرة الحجم نسبيا .	كبيرة الحجم نسبيا .
٢٧- الجراثيم (الأبواغ) الداخلية شديدة المقاومة للحرارة .	الجراثيم (الأبواغ) أقل مقاومة للحرارة . أو الظروف البيئية غير المناسبة .
٢٨- يتراوح الشكل من كروى الى عصى - حلزوى - خيطى - نجمى أو غير منتظم الشكل .	الأشكال متعددة ومختلفة .

الفصل العاشر

تقسيم الأحياء الدقيقة بدائيات النواة

تتميز الأحياء الدقيقة ذات النواة البدائية بصغر حجمها ، ولذلك فهي توجد في الطبيعة في بيئات صغيرة جدا • Microenvironments .
وحيث أن الطبيعة تحتوى على العديد من هذه البيئات . . لذلك فانه من المتوقع أن توجد في الطبيعة أعداد كبيرة من الأحياء الدقيقة المختلفة اختلافا كبيرا . وفي الحقيقة فانه لا يوجد مجموعة من الأحياء بها من الاختلافات الفسيولوجية والبيوكيميائية كما في مجموعة الأحياء ذات النواة البدائية .

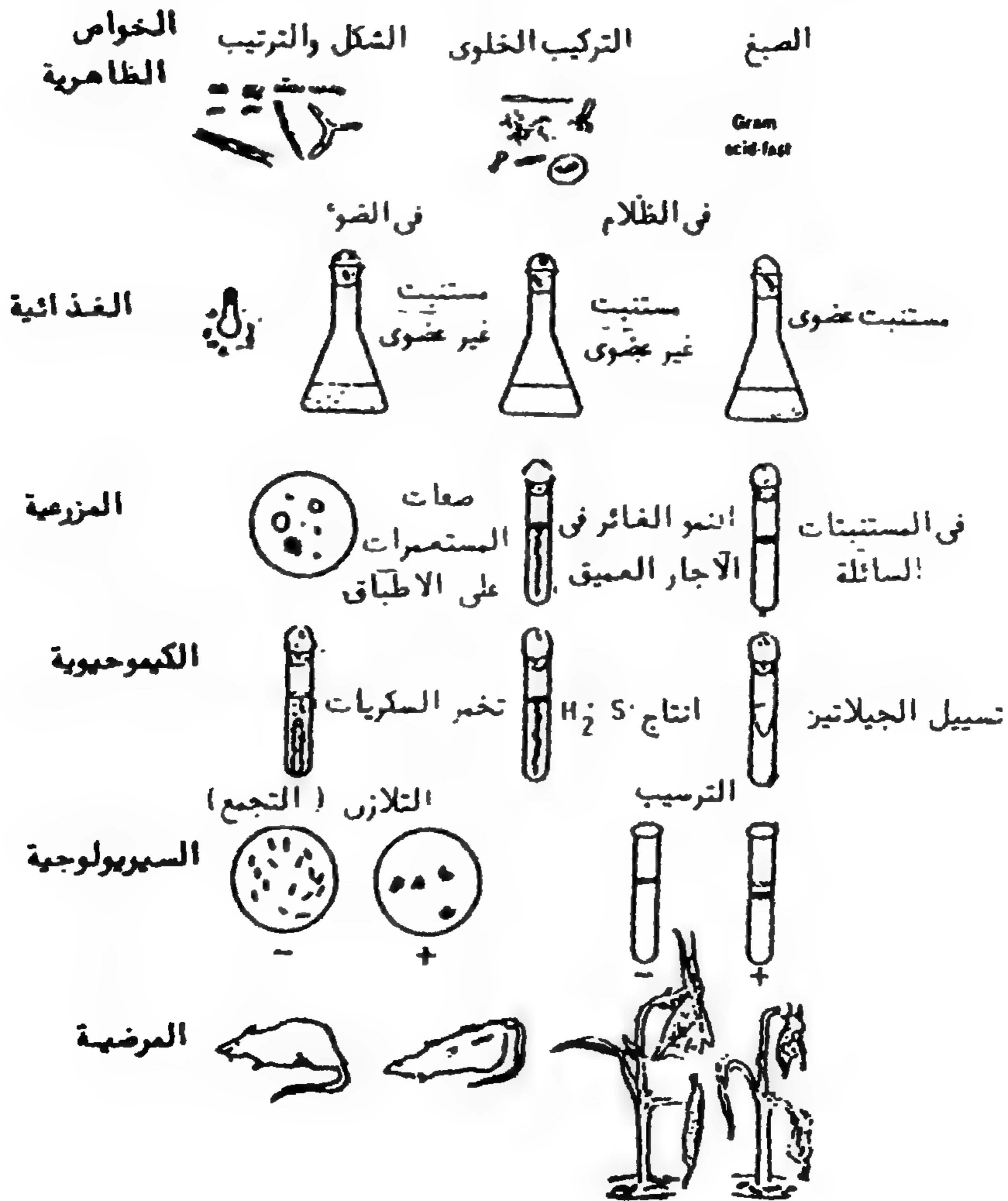
وأحد أهداف التقسيم هو اكتشاف العلاقة بين الكائنات الحية ، كما يفعل الكيميائيون بفحص الخواص المختلفة للعناصر الكيميائية التي تمكنهم من رسم العلاقة بين هذه العناصر لبناء الجدول الدورى للعناصر . ويجب هنا التمييز بين علم التقسيم Taxonomy وعلم التعرف Identification على الأحياء . . فعلم التقسيم هو محاولة ترتيب الأحياء وفقا لاختلافاتها . أما علم التعرف على الأحياء فهو عبارة عن التعرف على الأحياء تحت الدراسة ومدى مشابهتها للكائنات في أى قسم من الأقسام التي تم وضعها في علم التقسيم . ويجب ألا يختلط هذين التعريفين بالتسمية Nomenclature وهي وضع اسم لكائن حي .

وكل هذه الدراسات تدخل تحت الدراسات التصنيفية Systematics للبكتيريا . والوحدة التي يتم التعامل معها في علم التقسيم هي النوع Species .

التقسيم الطبيعي للبكتيريا :

يعتمد تقسيم البكتيريا على العلاقة بينها أو بمعنى آخر كثرة أو قلة

التشابه بينها • وتوجد أساليب مختلفة لتحديد درجة التشابه بين البكتيريا المختلفة من الصفات الظاهرية (المورفولوجية) والفسولوجية والمزرعية والمصلية والمرضية والبيئية وغيرها (شكل ١٠-١) . ولا يوجد اتفاق تام على الأهمية النسبية لكل نوع من الصفات في تقسيم البكتيريا . وكثيرا ما تعطى صفة معينة أهمية على غيرها من الصفات للحصول على



شكل ١٠-١ : شكل تخطيطي يوضح طريقة عزل والتعمر على البكتيريا

تقسيم طبيعي، Natural classification أو تقسيم تطوري-Phylogenetic classification للبكتيريا يوضح علاقة البكتيريا ببعضها على أساس منشأها المحتمل وتطورها . إذ يجمع البكتيريا ذات المنشأ المشترك مع بعضها البعض أكثر من تلك التي تختلف في المنشأ . ويمكن الوصول لمثل ذلك التقسيم لو توفرت معلومات كافية عن سائر البكتيريا والحلقات المفقودة بينها ولكن ذلك غير متوفر حالياً ، ولذلك فبناءً مثل ذلك التقسيم من الصعوبة بمكان في الوقت الحالي .

التقسيم الاصطناعي للبكتيريا

ولذلك يستخدم نوع آخر من التقسيم يسمى التقسيم الصناعي Artificial system أو التقسيم الشكلي Phenetic system وهو يعتمد على صفات يسهل ملاحظتها .

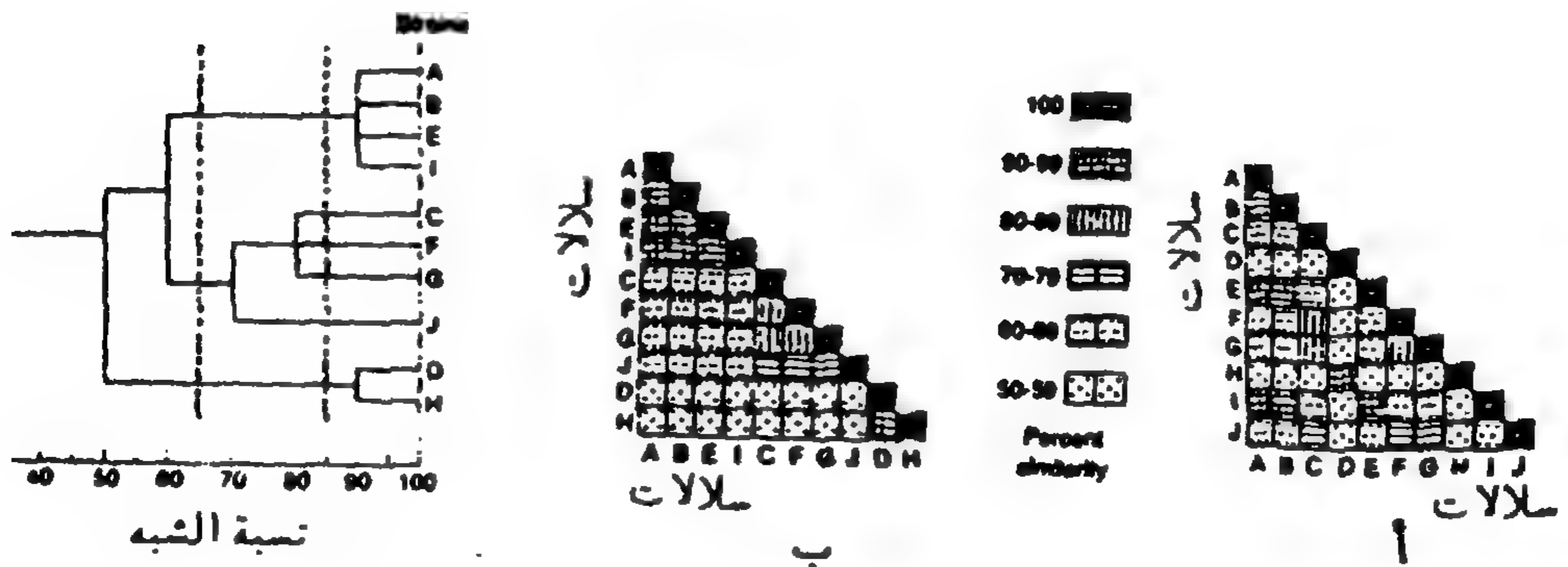
وهذا التقسيم ذو فائدة عملية لتعريف البكتيريا غير المعروفة بالإضافة إلى أنه يبين العلاقات بين هذه الأحياء الدقيقة . وتعتمد طبيعة هذه العلاقات على المعايير المستعملة لتكوين هيكل التقسيم ، وبحكم الحاجة نشأ تقسيم البكتيريا على هذا الأساس ، فمثلاً يمكن الاستنتاج أن البكتيريا الكروية قريبة من بعضها البعض وأنها نشأت ووضعت مع بعضها منفصلة عن البكتيريا العصوية أو الحلزونية أو خيطية .

التقسيم العددي للبكتيريا

نظراً لعدم إمكانية بناء تقسيم طبيعي للبكتيريا لقلة المعلومات المتوفرة عنها وعن الحلقات المفقودة فيما بينها . ونظراً لعدم كفاية التقسيم الاصطناعي أو الشكلي للبكتيريا لوضع هيكل تقسيمى ثابت ودائم ، فالقيمة التقسيمية للصفات المختلفة في التقسيم الاصطناعي تتغير من وقت لآخر حسب الاكتشافات المستمرة .

لذلك فقد نشأ نوع آخر من التقسيم يسمى التقسيم العددي Numerical taxonomy وهو يأخذ في الحسبان كل الاختلافات بنفس

القيمة التقسيمية . وما سهل اجراء هذا النوع من التقسيم هو وجود الحاسبات الآلية التي تقوم بمقارنة البكتيريا المختلفة على أساس جميع الصفات المختلفة وتوضح هذه الاختلافات في جداول سهلة . ويعاب على هذا النوع من التقسيم عدم ايضاح الأهمية (القيمة) التقسيمية لبعض صفات هامة معينة على غيرها من الصفات ذات الأهمية المحدودة . لذلك فهذا التقسيم لا يوضح العلاقات التطورية التي يرجى الوصول اليها بالتقسيم الطبيعي (شكل ١٠-٢) .

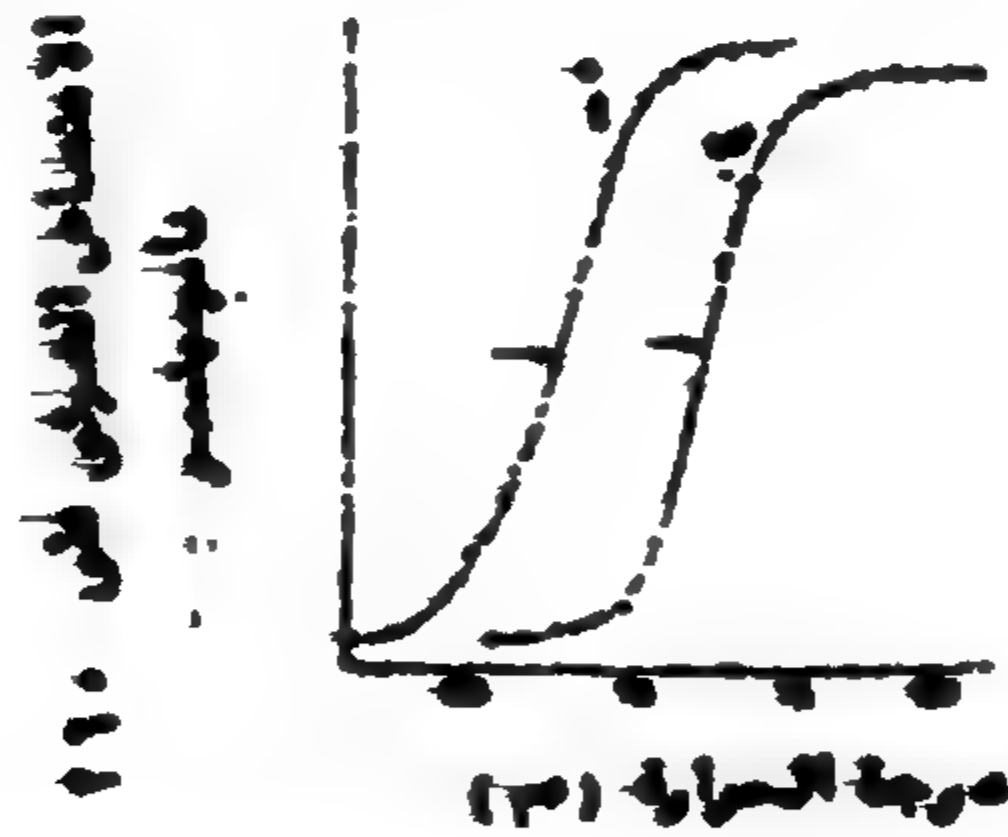


شكل ١٠-٢ : التقسيم العددي للبكتيريا

- أ - مدى التشابه بين عشرة سلالات من البكتيريا من A الى J قبل ترتيبها .
- ب - مدى التشابه بين العشرة سلالات من البكتيريا بعد ترتيبها وفقا للتقسيم العددي بحيث تكون السلالات قريبة الشبه من بعضها تكون قريبة من بعضها .
- ج - ديندروگرام يوضح علاقة التشابه بين سلالات البكتيريا العشرة . والخطوط المتقطعة توضح مستويات تشابه ممكنة عند مستويات مختلفة (نوع ، جنس مثلا) في المدرج التقسيمي .

التقسيم على أساس التشابه في الأحماض النووية

يحتوى الحمض النووى د ن أ DNA على القواعد الأربع المعروفة آدينين (A) وثيمين (T) وجوانين (G) وسيتوزين (C) وفى السلسلة المزدوجة لهذا الحمض النووى ترتبط قواعد الجوانين (G) بقواعد السيتوزين (C) برابطة اشتراكية ثلاثية ، وترتبط قواعد الثيمين (T) بقواعد الأدينين (A) برابطة اشتراكية ثنائية ، وعلى ذلك تكون نسبة الجوانين = نسبة السيتوزين فى أى بكتيريا ، كما تكون نسبة الأدينين = نسبة الثيمين . وكذلك فانه كلما زادت نسبة الجوانين + سيتوزين تقل نسبة الأدينين + ثيمين فى الحمض النووى د ن أ لأى بكتيريا . وبمعنى آخر فانه اذا كانت نسبة الجوانين + السيتوزين = ٦٠ ٪ فسان نسبة الأدينين + الثيمين = ٤٠ ٪ مثلاً . فهذا يعنى أن نسبة كلا من الجوانين والسيتوزين = ٣٠ ٪ لكل منهما ونسبة كل من الأدينين والسيتوزين = ٢٠ ٪ لكل منهما . وقد أثبتت الدراسات عند بداية معرفة التركيب الدقيق للأحماض النووية أن الأحياء المختلفة تحتوى على نسب مختلفة من هذه القواعد الأربع ولذلك ظهرت قيمة تقسيمية لتحديد نسبة



شكل ١٠-٢ : منحنيات الانصهار الناتجة عن قياس الامتصاص الضوئى عند ٢٦٠ نانومتر لعينة د ن أ من :

أ - البكتيريا لكتوباسيلس أسيدوفيلس *Lactobacillus acidophilus*

حيث تكون درجة الانصهار ٦٧,٧°م .

ب - البكتيريا لبتوسبايرا *Leptospira* sp. حيث تكون درجة

الانصهار ٧٢°م . وتحسب درجة الانصهار من نقطة منتصف

منحنى الانصهار عند الأسهم كما هو موضح بالشكل ، وينتج

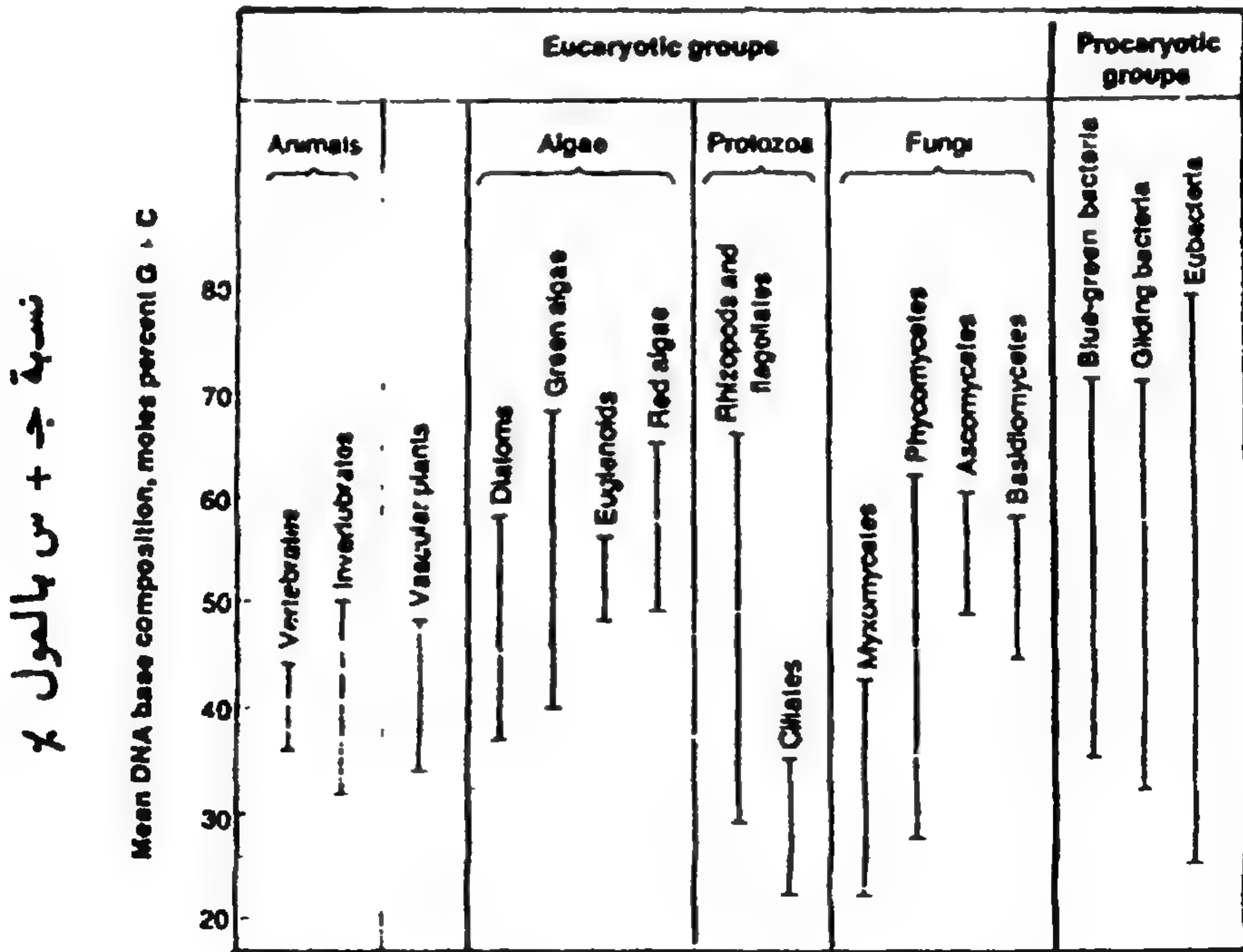
منحنى الانصهار من زيادة الامتصاص الضوئى على ٢٦٠ أنجستروم

نتيجة انفصال حلقتى د ن أ . ودرجة الانصهار تتناسب مع نسبة

(G+C) فى د ن أ .

الجوانين + السيتوزين (وهى تقاس بتقدير درجة الانصهار Melting point عادة للحمض النووى دنأ كما سيلي شرحه فى الفصل الرابع عشر) فى كثير من الحالات (شكل ١٠-٣) .

والشكل (١٠-٤) يوضح المجالات المختلفة لنسبة الجوانين + السيتوزين فى الأحياء الدقيقة حقيقية النواه مقارنة بمثيلتها فى بدائية النواه . وقد ثبت أيضا أن الكثير من الأحياء التى تحتوى على نفس النسب من القواعد المختلفة قد يكون بينها اختلاف كثير ، إذ أن وجود نفس القواعد بترتيب مختلف لاشك ينتج عن أحياء مختلفة ، ولذلك فـكـر علماء التقسيم فى دراسة مدى تطابق ترتيب القواعد فى الحمض النووى دنأ .



شكل ١٠-٤ : مدى نسبة جوانين + سيتوزين (ج+س) فى المجموعات الرئيسية من الأحياء .

ويمكن دراسة مدى تطابق ترتيب القواعد النيتروجينية في الحمض النووي دنأ لأحيا، مختلفة بدراسة امكانية تكوين سلاسل مزدوجة Duplex من سلاسل مفردة مأخوذة من أحيا، مختلفة . وعلى سبيل المثال يمكن دراسة مدى تطابق ترتيب القواعد النيتروجينية للحمض النووي دنأ لكلا من الكائنين س، ص باستخلاص دنأ من كلا من س، ص ثم تنقية هذين التحضيرين منفصلين ثم تعريضهما للحرارة لفصل (صهر) السلاسل المزدوجة . ثم دراسة امكانية تكوين السلاسل المزدوجة بخلط سلاسل مفردة من س وسلاسل مفردة من ص وذلك بالتبريد البطيء ، ويسهل تكوين نسبة عالية من السلاسل المزدوجة المنتظمة الى شدة الشبه في ترتيب القواعد بين الحمضين النوويين وبالتالي قرب الشبه بين الكائنين س، ص والعكس بالعكس .

ونفس الطريقة استخدمت أدوات تقسيمية مشابهة لدراسة مدى تقارب كائنات حية دقيقة من بعضها . ومن الأدوات التقسيمية التي استخدمت ، وما زال تطبيقها محدودا هي مدى تطابق ترتيب القواعد في أنواع من الحمض النووي رن RNA المختلفة مع مثيلاتها في كائنات أخرى ، وذلك بتكوين سلاسل مزدوجة مع الحمض النووي دنأ DNA كما استخدم ايضا مدى تطابق ترتيب الأحماض الأمينية في بروتينات معينة من أحيا، مختلفة للدلالة على مدى قرب أو بعد هذه الأحيا، من بعضها في منشأها وتطورها .

وعلى سبيل المثال اذا كان ترتيب الأحماض الأمينية في انزيم معين ، وليكن الانزيم المحلل لسكر اللبن (لاكتيز) المستخلص من الكائن (س) مشابه لذلك المستخلص من الكائن (ص) دل ذلك على درجة كبيرة من القرب بين الكائنين (س) ، (ص) ولكن نظرا لصعوبة قياس ترتيب الأحماض الأمينية فكثيرا ما يعتمد على قياس الصفات المصلية (السيرولوجية) لبروتينات مختارة من كائنات مختلفة .

ويجب الاشارة الى أنه لتصنيف أى بكتيريا فلا بد من فصلها وتنقيتها ، ويتم ذلك إما بالأطباق المصبوبة أو المخطوطة التي سبق الاشارة اليها في طرق دراسة الأحيا، الدقيقة .

مفهوم النوع في التقسيم

الوحدة التي يتم التعامل معها في علم التقسيم هي النوع Species. والنوع هو مجتمع من الخلايا الفردية ذات صفات مورفولوجية وفسولوجية وتركيبية على درجة عالية من التشابه . وقد يصحب ذلك درجة بسيطة من الاختلاف ، ولا بد من السماح بنسبة بسيطة من الاختلاف لأن الطفرات تحدث باستمرار وتحدث تغيرات وراثية . ويصبح السؤال الى أي حد يسمح بالاختلاف في النوع الواحد ؟ ومتى يمكن تقسيم نوع واحد الى نوعين أو أكثر من البكتيريا ؟ . . . وعلى أي حال فكثيرا ما تجمع السلالات Strains المختلفة ذات درجة عالية من التشابه في نوع Species واحد .

والوضع المثالي لتوصيف النوع Species هو وضع وصف كامل لجميع الصفات الظاهرية Phenotype . ويفضل أن يشمل الوصف جميع الصفات الوراثية Genotype ولكن ذلك نادرا ما يحدث .

ونظرا لأن معظم الصفات الظاهرية Phenotypic characteristics المعروفة هي صفات تركيبية أو تشريحية أو فسيولوجية فهي أكثر الصفات التي تستخدم لتقسيم البكتيريا ونادرا ما تستخدم الصفات الوراثية Genotypic characteristics . وتسمية الأنواع في البكتيريا تتبع النظم المعروفة في الكائنات الأخرى والمعروفة بنظام التسمية الثنائي Binomial System of nomenclature فيحمل كل نوع بيولوجي اسم لاتيني مكون من كلمتين . الاسم الأول يشير الى اسم مجموعة تقسيمية أكبر تسمى اسم الجنس Genus وهي الأعلى في المستوى مباشرة من اسم النوع ، ويكتب الحرف الأول من اسم الجنس كبيرا Capital letter والاسم الثاني وهو اسم النوع Species والذي سبق الإشارة اليه ويكتب كله بحروف صغيرة Small letters . والجنس يشمل عددا من الأنواع ذات صفات متقاربة نوعا ما . والأنواع التابعة لجنس ما تختلف عن أنواع جنس آخر بدرجة مميزة . ويجب ان تكتب الأسماء العلمية بطريقة مميزة عن باقي الكتابة ، فتكتب إما بالحروف المائلة أو يوضع تحت الأسماء العلمية خط تمييزا لها .

وتجمع الأجناس المتشابهة في عائلة Family وتجمع العائلات

المتشابهة في رتبة Order وتجمع الرتب المتشابهة في جزء Part وتجمع الأقسام المتشابهة في قبيلة Division وتجمع قبيلتي البكتيريا في مملكة Kingdom واحدة ، وهي بدائية النواة أو ذوات النواة البدائية Kingdom Procaryotae (جميع الأحياء ذات النواة البدائية وكلها تسمى بكتيريا Bacteria) تقسم الى قبيلتين أساسيتين هما :

قبيلة : السيانوبكتيريا Division I: The Cyanobacteria

قبيلة : البكتيريا Division II: The Bacteria

وسنستعرض هنا باختصار السيانوبكتيريا نظرا لقلة الدراسات عليها مقارنة بالبكتيريا . . أما الأخيرة فسنفرد لها بقية هذا الباب .

القبيلة الأولى : السيانوبكتيريا Division I: Cyanobacteria

كانت في الماضي تسمى الطحالب الخضراء المزرقـة Blue green algae ولكن نظرا لعدم احتوائها على نواة حقيقية ماثلة في ذلك للبكتيريا فقد تم نقلها بصفة نهائية الى مملكة ذوات النواة البدائية Procaryotae وسميت بالبكتيريا الخضراء المزرقـة تمييزا لها عن الطحالب ذات النواة الحقيقية . ولقد درست هذه المجموعة من الكائنات في الماضي أساسا بواسطة علماء الطحالب .

وكان تقسيم هذه المجموعة - في حالة غير مرضية - معتمدا على الصفات المورفولوجية Morphology وليس ذلك فقط ، بل أن الدراسات المورفولوجية كانت تجرى على عينات مجموعة من الطبيعة دون تنقيتها أو الحصول على مزارع نقية Pure cultures .

وقد بدأ علماء الأحياء الدقيقة حاليا استعمال الطرق المستعملة في تقسيم البكتيريا لتقسيم البكتيريا الخضراء المزرقـة .

وقد وجدت السيانوبكتيريا بكثرة في الحفريات القديمة . ويعتقد كثير من العلماء أن أول صور الحياة الخلوية على الأرض كانت من السيانوبكتيريا نظرا للبساطة النسبية لتركيب الخلايا وقدرتها الذاتية على التغذية .

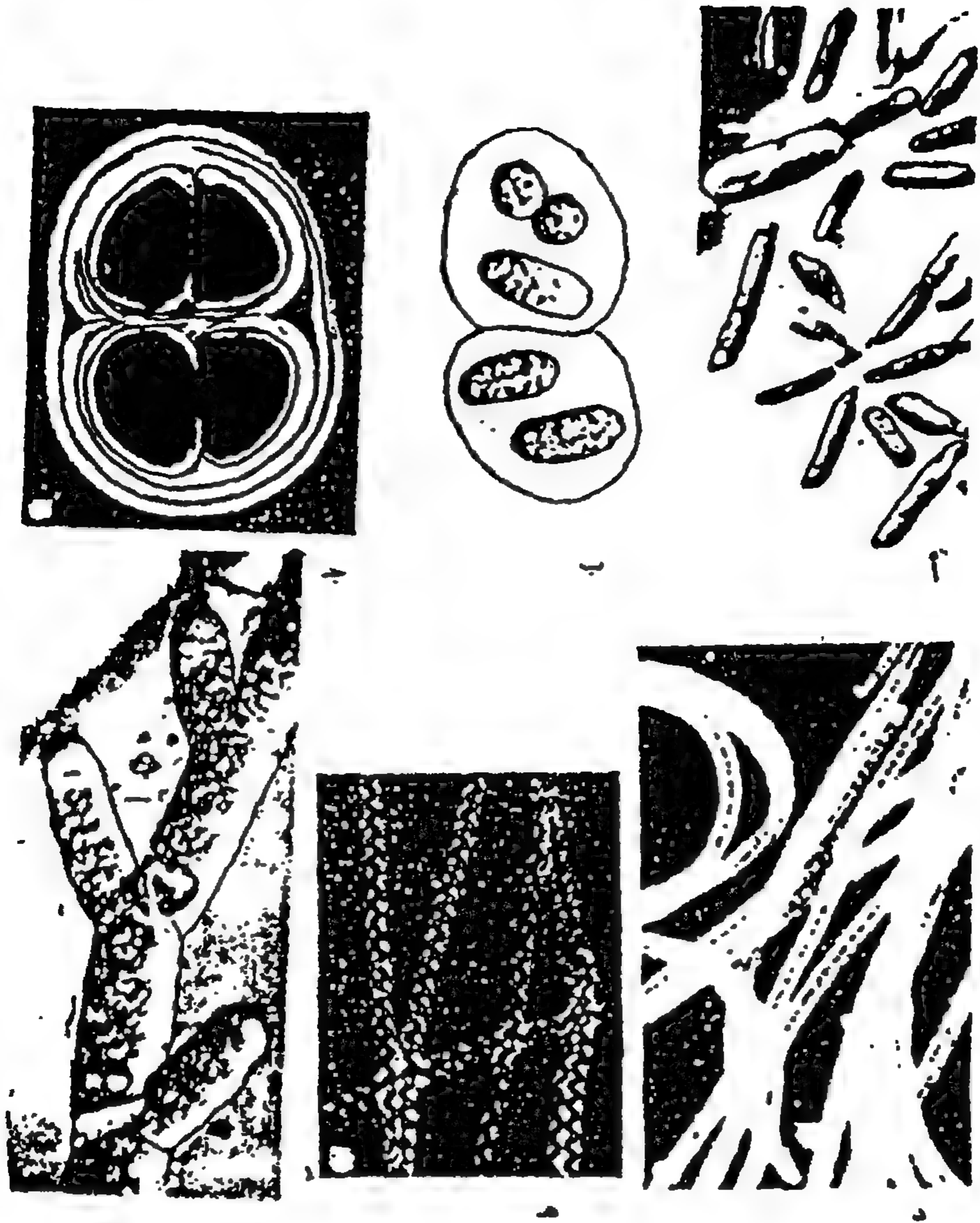
التركيب: Structure

توجد اختلافات مورفولوجية كثيرة بين السيانوبكتيريا (شكل ١٠-٥) فمنها ما هو وحيد الخلية أو خيوط متعددة الخلايا ، وتختلف في الحجم من ذلك الحجم المماثل لحجم البكتيريا (٥-١ ميكروميتر) الى حوالى ٦٠ ميكروميتر في الفطر كما في Oscillatoria princeps وخلايا تعتبر أكبر خلايا من ذوات النواة البدائية .

تختلف الأحماض الدهنية في السيانوبكتيريا عن البكتيريا ، فالبكتيريا تحتوى غالبا على أحماض دهنية مشبعة ، والأحماض الدهنية غير المشبعة ذات الرابطة الزوجية الواحدة Mono unsaturated fatty acids ولكن السيانوبكتيريا تحتوى أحماض دهنية غير مشبعة ذات رابطتين زوجيتين أو أكثر .

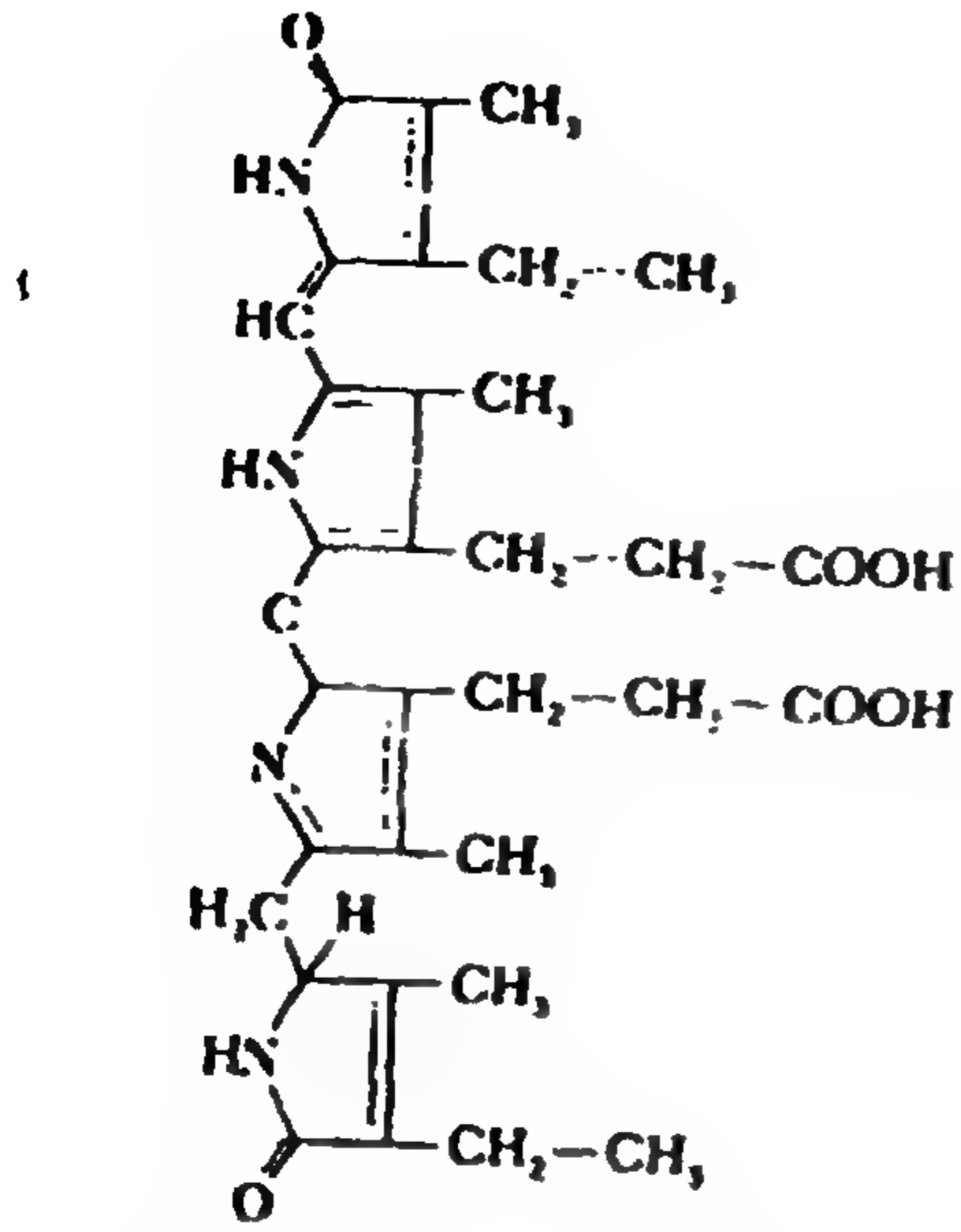
التركيب الدقيق للجدار الخلوى فى بعض السيانوبكتيريا يشبه الجدار الخلوى للبكتيريا السالبة لصبغة جرام والتي سبق ذكرها فى الفصل التاسع . ولكن عددا كبيرا من السيانوبكتيريا ينتج غلافا Sheath جيلاتينيا لربط مجموعة من الخلايا فى صورة خيط أو ربط مجموعة من الخيوط مع بعضها . كما أن الغشاء الخلوى الذى تتم فيه عمليات التمثيل الضوئى يكون غالبا معقدا ذو طبقات متعددة شكل (٩-٥) .

وتحتوى السيانوبكتيريا على نوع واحد من الكلوروفيل وهو الكلوروفيل أ ، كما تحتوى كل السيانوبكتيريا على صبغات الفيكوبيلين Phycobilins شكل (١٠-٦) وهو يسهم فى عمليات التمثيل الضوئى . وأحد أنواع الفيكوبيلين هى صبغات الفيكوسيانين Phycocyanins وهى ذات لون أزرق ، أقصى امتصاص ضوئى لها عند طول موجى ٦٢٥-٦٣٠ نانوميتر ، وهذه الصبغات مع كلوروفيل (أ) يكونان اللون الأخضر المزرق للسيانوبكتيريا ، ولكن بعض السيانوبكتيريا تنتج صبغة الفيكوايرثرين Phycoerythrin وهى إحدى أنواع الفيكوبيلين وذات لون أحمر وأقصى امتصاص للضوء لها عند طول موجى من ٥٧٠ الى ٥٨٠ نانوميتر ، ومثل هذه البكتيريا تكون ذات لون أحمر أو بنى .



شكل ١٠-٥ : الاختلافات في الشكل الظاهري للبكتيريا الخضراء المزرقة...

أ- سينشوكوكس	<i>Synechococcus</i> sp.	وحيد الخلية •
ب- أوسكيلاتوريا	<i>Oscillatoria</i> sp.	خيوطي •
ج- كرووكوكس	<i>Chroococcus</i> sp.	مستعمرة وحيد الخلية •
د- جليوكابسا	<i>Gloeocapsa</i> sp.	مستعمرة وحيد الخلية
هـ- توليبوتريكس	<i>Tolypothrix</i> sp.	خيوطي متفرع •
و- سبايرولينا	<i>Spirulina</i> sp.	خيوطي



شكل ١٠-٦ : التركيب البنائي العام
للفيكوبيلين وهو عبارة عن سلسلة
مفتوحة للتتراپيرول Tetrapyrrole .
والمركب الموضح هو رمز الفيكوسيانين
وهو عبارة عن صبغة بروتينية توجد
في السيانوبكتيريا والطحالب الحمراء ..

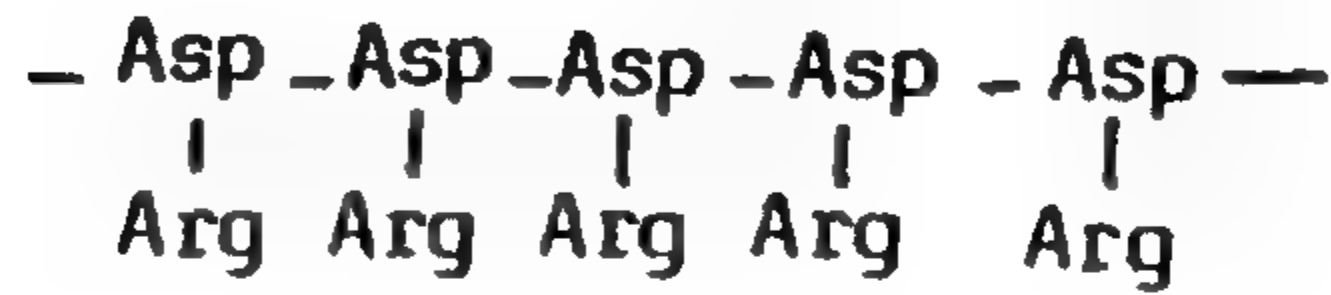
تحتوى كثير من السيانوبكتيريا على فجيووات غازية تسمح لها بالطفو
في الأوساط المائية (شكل ٩-٤٠) حتى يمكنها التعرض للضوء للقيام
بعمليات التمثيل الضوئي . كما تكون بعض السيانوبكتيريا حويصلات Heter-
ocysts شكل (١٠-٧) وهي مستديرة مكونة من خلايا تبدو فارغة ، وعادة
موزعة على طول الخيوط filaments أو في نهاية الخيط . والحويصلات
heterocysts تتكون من خلية خضرية عندما تدخل في حالة كمون Resting
ورغم أنه نادرا ما أمكن ملاحظة انباتها ، فان معظم ال Heterocysts
تثبت النيتروجين والحويصلات Heterocysts تتصل داخليا بالخلايا
الخضرية المجاورة لها ، وهناك تبادل للمواد بينهما ، فتنتقل نواتج
التمثيل الضوئي من الخلايا الخضرية الى الحويصلات Heterocysts بينما



شكل ١٠-٧ : الحويصلات التي تكونها
السيانوبكتيريا أناينا Anabaena

تنتقل نواتج تثبيت النيتروجين في الاتجاه العكسي . حيث تفتقر الحويصلات Hetrocysts الى صبغات التمثيل الضوئي .

ويستطيع عدد كبير من السيانوبكتيريا تخزين النيتروجين في صورة حبيبات سيانوفيسين Cyanophycin التي ترى في صورة المجهر الالكتروني ، وهي سلسلة ببتيدية مكونة من الأحماض الأمينية أسبارتيك Asp والأرجنيتين Arg



يتحرك عدد كبير من السيانوبكتيريا بالانزلاق Gliding ولم يعثر للأسواط على أثر في هذه المجموعة من الكائنات ، وقد تكون الحركة بطيئة أو سريعة . وتحدث الحركة فقط عندما تلامس الأنواع المتحركة سطحاً صلباً أو تلامس بعضها البعض ، وتكون الحركة في معظم الأحيان موجبة في اتجاه الضوء Phototaxis (وهي الحركة الموجهة بواسطة وجود الضوء أو غيابه) كما لوحظت أيضاً حركة سالبة نتيجة شدة الاضاءة .

كما أن الحركة الموجهة بالكيميائيات Chemotaxis أيضاً قد لوحظت في السيانوبكتيريا .

تتجزأ بعض أفراد السيانوبكتيريا الخيطية لتكوين Hormogonia التي تنزلق لمكان آخر . كما أن بعض السيانوبكتيريا يكون جراثيم Spores كامنة أو أكينيتس Akinetes لحماية هذه الأحياء أثناء الظلام أو الجفاف أو التجمد ، وهي عبارة عن خلايا ذات جدار خارجي سميك ، ويمكنها أن تنبت في الظروف المناسبة لتكوين خيوط مرة ثانية .

فسيولوجيا السيانوبكتيريا :

تتغذى السيانوبكتيريا تغذية بسيطة ، فهي لا تحتاج فيتامينات ، وتستخدم أملاح النترات أو الأمونيوم كمصدر للنيتروجين . وتستخدم

CO₂ كمصدر للكربون والضوء كمصدر للطاقة . ومعظم السيانوبكتيريا تكون ذاتية التغذية اجبارية ، بمعنى أنها لا يمكنها النمو في الظلام على مركبات عضوية ، ولكن بعضها يستطيع ذلك علاوة على قدرته على تمثيل الضوء .

تنتج بعض السيانوبكتيريا مادة سامة Neurotoxins ويحدث ذلك عند تلون بعض المستنقعات بلون أخضر مزرق دلالة على نمو بعض أنواع السيانوبكتيريا ، وشرب الماء في مثل هذه الحالة يعتبر خطرا يجب تجنبه . كما أن بعض السيانوبكتيريا تنتج مادة الجوسمين Goesmin المسؤولة عن رائحة التربة ، وعند ذلك تكتسب المياه التي تنمو فيها هذه السيانوبكتيريا رائحة الأرض . وهذه المادة تنتجها بعض البكتيريا الخيطية من نوع الاستربتومايسس Streptomyces .

البيئة :

السيانوبكتيريا منتشرة بكثرة في الطبيعة فهي توجد في التربة الرطبة وفي المياه العذبة والمالحة ، وهي أكثر مقاومة للظروف البيئية المتطرفة عن الطحالب ذات النواة الحقيقية Eucaryotic algae وغالبا ما تكون هي الأحياء الممثلة للضوء السائدة في عيون الماء الساخنة Hot springs . والجدول (١-٣) يوضح بالتقريب الحد الأعلى لدرجات الحرارة المناسبة لنمو السيانوبكتيريا مقارنة بالأحياء الدقيقة الأخرى .

(جدول ١-٣) الحد الأعلى التقريبي من درجات الحرارة لنمو بعض الأحياء الدقيقة

درجة الحرارة المثوية	نوع البائن الحي الدقيق
٤٥ — ٥٠	البروتوزوا
٥٦	الطحالب ذات النواة الحقيقية
٦٠	الفطريات
٧٣ — ٧٠	البكتيريا الممثلة للضوء (+ السيانوبكتيريا)
٩٩	البكتيريا

وتعيش معظم السيانوبكتيريا معيشة حرة ، والقليل منها يتطفل جزئيا على بعض الطحالب ذات النواة الحقيقية .

المبيلة الثانية : البكتيريا Division II: Bacteria

لقد اهتمت الطبعة الثامنة لدليل برجي للتقدير البكتيريولوجى ١٩٧٤م Bergey's Manual of Determinative Bacteriology 1974 بتقسيم البكتيريا اهتماما خاصا . وكانت الطبعة الأولى من هذا الكتاب قد ظهرت عام ١٩٢٣م . ويعتبر هذا الكتاب هو المرجع الرئيسى لتقسيم البكتيريا . ونظرا لأن العلاقات التطورية لهذه الكائنات غير واضحة فان الكتاب قد قسم البكتيريا تسعة عشرة قسما أو عائلة معتمدا بدرجته كبيرة على الصفات المورفولوجية ومصدر الطاقة والحركة واحتياجات الأكسجين الجزيئى .

وقد أعطيت الصفات المورفولوجية — بما فى ذلك التفاعل لصبغة جرام — أهمية كبرى فى فصل عدد كبير من مجموعات البكتيريا . ورغم أن صبغة جرام لا تعتبر صفة مورفولوجية بدقة ، ولكن نظرا لأن العاملين فى هذا الحقل يقدرون التفاعل لصبغة جرام فى نفس الوقت مع الصفات المورفولوجية فاننا سنعتبرها أحدها . فقد قسم دليل بيرجى مجموعات عديدة من البكتيريا وفقا للصفات المورفولوجية وصبغة جرام كالعصوية الموجبة لجرام — والكروية الموجبة لجرام — والعصوية السالبة لجرام — والكروية السالبة لجرام — والمنحنية أو السالبة لجرام كلها أقسام منفصلة فى التقسيم الجديد .

الجراثيم الداخلية للبكتيريا Bacterial endospores هى تركيب وحيد فى صفاته وذو أهمية عملية كبيرة للأحياء التى تكونها ، وقد قسمت كل البكتيريا المكونة للجراثيم الداخلية فى قسم مع بعضها . ومجموعة أخرى كبيرة من البكتيريا تتماثل مورفولوجيا فى قدرتها على تكوين الخيوط أو — الكورينى فورم وضعت مع بعضها فى قسم الأكتينومايسيتس Actinomycetes . كذلك فصلت مجموعات أخرى على الأسس المورفولوجية مثل البكتيريا المنزلقة Gliding bacteria وهى مجموعة من البكتيريا العصوية تكون خيوطا

، فقد فصلت في قسم بمفردها ، وكذلك مجموعة البكتيريا المغلفة -Shea-
 thed bacteria ، وهي أيضا بكتيريا عصوية تنمو داخل أنبوبة مفرغة
 تسمى الغلاف Sheath قد وضعت أيضا في قسم بمفردها . . . وضعت
 البكتيريا الحلزونية (صفة مورفولوجية أخرى) كلاسبيروكيتا في قسم
 آخر . كما وضعت البكتيريا عديمة الجدار الخلوى (صفة مورفولوجية أخرى)
 الميكوبلازما في قسم آخر . ورغم أن بعض الميكوبلازما ناتجة من بعض
 البكتيريا الأخرى يفقد الجدار الخلوى ، إلا أن بعض الميكوبلازما ذات
 صفات وحيدة ، لذلك لزم تخصيص قسم منفرد لها مع البكتيريا الأخرى التي
 لا تكون جدار خلوى . والمجموعة الأخيرة - الركتيسيا - وضعت في قسم
 بمفردها على أساس تطفلها الاجبارى داخل الخلايا الحية ، وهي إما
 عصوية أو كروية الشكل وتكون جدار خلوى .

ونظرا لتعدد البكتيريا وعدم امكانية استعراض جميع الأجناس
 في كتاب مثل هذا - فسنتفى في هذا الباب باستخلاص الأجناس
 وتيعيتها من كتاب دليل برجى فيما يلى :

KINGDOM. PHOCARYOTAE
 Division I The Cyanobacteria
 Division II The Bacteria

Part 1: Phototrophic bacteria
 Order I. Rhodospirillales
 Family I Rhodospirillaceae
 Genus I Rhodospirillum
 Genus II Rhodopseudomonas
 Genus III Rhodomicrobium
 Family II Chromatiaceae
 Genus I Chromatium
 Genus II Thiocystis
 Genus III Thiosarcina
 Genus IV Thiospirillum
 Genus V. Thiocapsa
 Genus VI. Lamprocystis
 Genus VII Thiodictyon
 Genus VIII. Thiopodia
 Genus IX: Amoebobacter
 Genus X Ectothiorhodospira
 Family III Chlorobiaceae
 Genus I: Chlorobium
 Genus II Prosthecochloris
 Genus III Chloropseudomonas
 Genus IV. Pelodictyon
 Genus V: Clathrochloris

Part 2: Gliding bacteria
 Order I: Myxobacterales
 Family I: Myxococcaceae
 Genus I: Myxococcus
 Family II: Archangiaceae
 Genus I: Archangium
 Family III: Cystobacteraceae
 Genus I. Cystobacter
 Genus II: Melittangium
 Genus III. Stigmatella
 Family IV Polyangiaceae
 Genus I. Polyangium
 Genus II. Nannocystis
 Genus III Chondromyces
 Order II Cytophagales
 Family I: Cytophagaceae
 Genus I Cytophaga
 Genus II Flexibacter
 Genus III Herpetosiphon
 Genus IV Flexithrix
 Genus V. Saprospira
 Genus VI Sporocytophaga
 Family II. Buggialoacae
 Genus I Buggialoa
 Genus II Vitreoscilla
 Genus III Thioploca
 Family III: Simonsiellaceae
 Genus I: Simonsiella
 Genus II: Alysella

Family IV: Leucothrichaceae

Genus I: *Leucothrix*

Genus II: *Thiothrix*

Families and genera of uncertain affiliation

Genus: *Toxothrix*

Family: Achromatiaceae

Genus: *Achromatium*

Family: Pelosomataceae

Genus: *Pelonema*

Genus: *Achroonema*

Genus: *Peloploca*

Genus: *Dasmanthos*

Part 3: Sheathed bacteria

Genus: *Sphaerotilus*

Genus: *Leptothrix*

Genus: *Streptothrix*

Genus: *Linskoella*

Genus: *Phragmidiothrix*

Genus: *Crenothrix*

Genus: *Clonothrix*

Part 4: Budding and appendaged bacteria

Genus: *Hyphomicrobium*

Genus: *Hyphomonas*

Genus: *Pedomicrobium*

Genus: *Caulobacter*

Genus: *Asticcacaulis*

Genus: *Ancalomicrobium*

Genus: *Prosthecomicrobium*

Genus: *Thiodendron*

Genus: *Pasteuria*

Genus: *Blastobacter*

Genus: *Seliberia*

Genus: *Gallionella*

Genus: *Nevskia*

Genus: *Planctomyces*

Genus: *Metallogenium*

Genus: *Caulococcus*

Genus: *Kusnezovia*

Part 5: Spirochetes

Order I: Spirochaetales

Family I: Spirochaetaceae

Genus I: *Spirochaeta*

Genus II: *Cristispira*

Genus III: *Treponema*

Genus IV: *Borrelia*

Genus V: *Leptospira*

Part 6: Spiral and curved bacteria

Family I: Spirillaceae

Genus I: *Spirillum*

Genus II: *Campylobacter*

Genera of uncertain affiliation

Genus: *Bdellovibrio*

Genus: *Microcyclops*

Genus: *Pelosigma*

Genus: *Brachyarcus*

Part 7: Gram-negative, aerobic rods and cocci

Family I: Pseudomonadaceae

Genus I: *Pseudomonas*

Genus II: *Xanthomonas*

Genus III: *Zoogloea*

Genus IV: *Gluconobacter*

Family II: Azotobacteraceae

Genus I: *Azotobacter*

Genus II: *Azomonas*

Genus III: *Beijerinckia*

Genus IV: *Derxia*

Family III: Rhizobiaceae

Genus I: *Rhizobium*

Genus II: *Agrobacterium*

Family IV: Methylobacteriaceae

Genus I: *Methylobacter*

Genus II: *Methylococcus*

Family V: Halobacteriaceae

Genus I: *Halobacterium*

Genus II: *Halococcus*

Genera of uncertain affiliation

Genus: *Alcaligenes*

Genus: *Acetobacter*

Genus: *Brucella*

Genus: *Bordetella*

Genus: *Francisella*

Genus: *Thermus*

Part 8: Gram-negative, facultatively anaerobic rods

Family I: Enterobacteriaceae

Genus I: *Escherichia*

Genus II: *Edwardsiella*

Genus III: *Citrobacter*

Genus IV: *Salmonella*

Genus V: *Shigella*

Genus VI: *Klebsiella*

Genus VII: *Enterobacter*

Genus VIII: *Hafnia*

Genus IX: *Serratia*

Genus X: *Proteus*

Genus XI: *Yersinia*

Genus XII: *Erwinia*

Family II: Vibrionaceae

Genus I: *Vibrio*

Genus II: *Aeromonas*

Genus III: *Photobacterium*

Genus IV: *Photobacterium*

Genus V: *Lucibacterium*

Genera of uncertain affiliation

Genus: *Zymomonas*

Genus: *Chromobacterium*

Genus: *Flavobacterium*
 Genus: *Haemophilus*
 Genus: *Pasteurella*
 Genus: *Actinobacillus*
 Genus: *Cardiobacterium*
 Genus: *Streptobacillus*
 Genus: *Cahymmatobacterium*
 Parasites of *Paramecium*

Part 9: Gram-negative, anaerobic bacteria

Family I: *Bacteroidaceae*
 Genus I: *Bacteroides*
 Genus II: *Fusobacterium*
 Genus III: *Leptotrichia*
 Genera of uncertain affiliation
 Genus: *Desulfovibrio*
 Genus: *Butyrivibrio*
 Genus: *Succinivibrio*
 Genus: *Succinomonas*
 Genus: *Lachnospira*
 Genus: *Selenomonas*

Part 10: Gram-negative cocci and coccobacilli (aerobes)

Family I: *Neisseriaceae*
 Genus I: *Neisseria*
 Genus II: *Brachyella*
 Genus III: *Moraxella*
 Genus IV: *Acinetobacter*
 Genera of uncertain affiliation
 Genus: *Paracoccus*
 Genus: *Lampyrodia*

Part 11: Gram-negative cocci (anaerobes)

Family I: *Veillonellaceae*
 Genus I: *Veillonella*
 Genus II: *Acidaminococcus*
 Genus III: *Megasphaera*

Part 12: Gram-negative, chemolithotrophic bacteria

a. Organisms oxidizing ammonia or nitrite

Family I: *Nitrobacteraceae*
 Genus I: *Nitrobacter*
 Genus II: *Nitrospira*
 Genus III: *Nitrococcus*
 Genus IV: *Nitrosomonas*
 Genus V: *Nitrosospira*
 Genus VI: *Nitrosococcus*
 Genus VII: *Nitrosolobus*

b. Organisms metabolizing sulfur

Genus: *Thiobacillus*
 Genus: *Sulfobolus*
 Genus: *Thiobacterium*

Genus: *Macromonas*

Genus: *Thiovulum*

Genus: *Thiospira*

c. Organisms depositing iron or manganese oxides

Family I: *Siderocapsaceae*

Genus I: *Siderocapsa*

Genus II: *Naumaniella*

Genus III: *Ochrobium*

Genus IV: *Siderococcus*

Part 13: Methane-producing bacteria

Family I: *Methanobacteriaceae*

Genus I: *Methanobacterium*

Genus II: *Methanosarcina*

Genus III: *Methanococcus*

Part 14: Gram-positive cocci

a. Aerobic and/or facultatively anaerobic

Family I: *Micrococcaceae*

Genus I: *Micrococcus*

Genus II: *Staphylococcus*

Genus III: *Planococcus*

Family II: *Streptococcaceae*

Genus I: *Streptococcus*

Genus II: *Leuconostoc*

Genus III: *Pediococcus*

Genus IV: *Aerococcus*

Genus V: *Gemella*

b. Anaerobic

Family III: *Peptococcaceae*

Genus I: *Peptococcus*

Genus II: *Peptostreptococcus*

Genus III: *Ruminococcus*

Genus IV: *Sarcina*

Part 15: Endospore-forming rods and cocci

Family I: *Bacillaceae*

Genus I: *Bacillus*

Genus II: *Sporolactobacillus*

Genus III: *Clostridium*

Genus IV: *Desulfotomaculum*

Genus V: *Sporosarcina*

Genus of uncertain affiliation

Genus: *Oscillospira*

Part 16: Gram-positive, nonsporing, rod-shaped bacteria

Family I: *Lactobacillaceae*

Genus I: *Lactobacillus*

Genera of uncertain affiliation

Genus: *Listeria*

Genus: *Erysipelothrix*

Genus: *Caryophanon*

Part 17: Actinomyces and related organisms

Corynelorm group of bacteria

Genus I: *Corynebacterium*

- a. Human and animal pathogens
- b. Plant-pathogenic corynebacteria
- c. Nonpathogenic corynebacteria

Genus II: *Arthrobacter*

Genera incertae sedis

(*Brevibacterium*)

(*Microbacterium*)

Genus III: *Cellulomonas*

Genus IV: *Kurtzia*

Family I: Propionibacteriaceae

Genus I: *Propionibacterium*

Genus II: *Eubacterium*

Order I: Actinomycetales

Family I: Actinomycetaceae

Genus I: *Actinomyces*

Genus II: *Arachnia*

Genus III: *Bitidobacterium*

Genus IV: *Bacterionema*

Genus V: *Rothia*

Family II: Mycobacteriaceae

Genus I: *Mycobacterium*

Family III: Frankiaceae

Genus I: *Frankia*

Family IV: Actinoplanaceae

Genus I: *Actinoplanes*

Genus II: *Spirillospora*

Genus III: *Streptosporangium*

Genus IV: *Amphosporangium*

Genus V: *Ampullariella*

Genus VI: *Pilimela*

Genus VII: *Planomonospora*

Genus VIII: *Planobispora*

Genus IX: *Dactylosporangium*

Genus X: *Kitasatoa*

Family V: Dermatophilaceae

Genus I: *Dermatophilus*

Genus II: *Geodermatophilus*

Family VI: Nocardiaceae

Genus I: *Nocardia*

Genus II: *Pseudonocardia*

Family VII: Streptomycetaceae

Genus I: *Streptomyces*

Genus II: *Streptoverficillium*

Genus III: *Synorchithya*

Genus IV: *Microellobospora*

Family VIII: Micromonosporaceae

Genus I: *Micromonospora*

Genus II: *Thermoactinomyces*

Genus III: *Actinobifida*

Genus IV: *Thermomonospora*

Genus V: *Microbispora*

Genus VI: *Micropolyspora*

Part 18: The Rickettsias

Order I: Rickettsiales

Family I: Rickettsiaceae

Tribe I: Rickettsieae

Genus I: *Rickettsia*

Genus II: *Prochlamidia*

Genus III: *Coxiella*

Tribe II: Ehrlichieae

Genus IV: *Ehrlichia*

Genus V: *Cowdria*

Genus VI: *Neorickettsia*

Tribe III: Wolbachieae

Genus VII: *Wolbachia*

Genus VIII: *Symbiotes*

Genus IX: *Blattabacterium*

Genus X: *Rickettsiella*

Family II: Bartonellaceae

Genus I: *Bartonella*

Genus II: *Grahamella*

Family III: Anaplasmataceae

Genus I: *Anaplasma*

Genus II: *Paranaplasma*

Genus III: *Aegyptionella*

Genus IV: *Haemobartonella*

Genus V: *Eperythrozoon*

Order II: Chlamydiales

Family I: Chlamydiaceae

Genus I: *Chlamydia*

Part 19: The Mycoplasmas

Class I: Mollicutes

Order I: Mycoplasmatales

Family I: Mycoplasmataceae

Genus I: *Mycoplasma*

Family II: Acholeplasmataceae

Genus I: *Acholeplasma*

Genus of uncertain affiliation

Genus: *Thermoplasma*

Mycoplasma-like bodies in plants

الباب الرابع

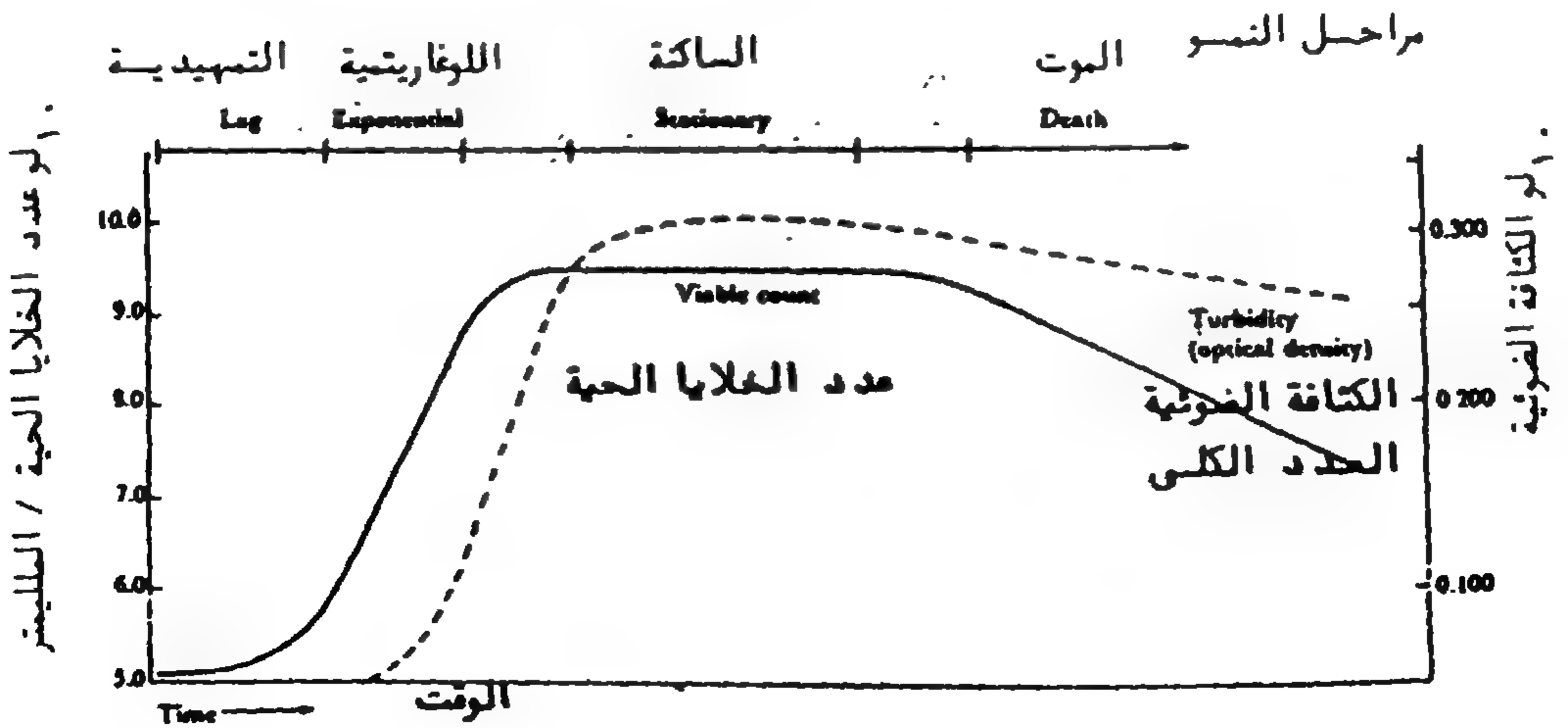
النمو والتكاثر في الأحياء الدقيقة الخلوية

وكيفية التحكم فيه

الفصل الحادي عشر : نمو وتكاثر الأحياء الدقيقة الخلوية..

الفصل الثاني عشر : العوامل التي تؤثر على نمو ونشاط

الأحياء الدقيقة الخلوية وأهميتها..



الفصل الحادى عشر

نمو وتكاثر الأحياء الدقيقة الخلوية

يعرف النمو على أنه زيادة متناسقة فى جميع المكونات والتركيبات الخلوية . ولا يمكن اعتبار الزيادة فى الوزن فقط دليلا كافيا على النمو ، لأن الزيادة فى الوزن قد تكون نتيجة زيادة فى المواد المخزنة مثل الجليكوجين أو عديد البيتا هيدروكس بيوترات Poly hydroxy butyrate ولكن المقصود بالنمو هو النمو المتزن Balanced growth والناتج عن زيادة جميع مكونات الخلية بنفس النسبة ، بحيث أنه عندما يتضاعف وزن الخلية لابد وأن تتضاعف مكونات الخلية من البروتين ومن الحمض النووى رنأ RNA والحمض النووى دنأ DNA وغيرها من المكونات .

وإذا حدث النمو فى غياب انقسام الخلية فان ذلك يؤدى الى زيادة فى حجم الخلية ووزنها . ولكن فى معظم الخلايا يكون النمو متبوعا بانقسام ، وهى عملية دورية Cyclical مستمرة تؤدى الى زيادة عدد الخلايا ، والخلايا الجديدة تنمو فى الحجم لتبلغ حجم الخلايا الأصلية فى وقت قصير ثم تنقسم . . . وهكذا . . .

ومن المفيد التمييز بين نمو الخلايا الفردية ونمو مجتمع من الخلايا . فنمو الخلية ينتج عنه عادة زيادة فى الحجم والوزن فيما قبل انقسام الخلية . أما نمو المجتمع فينتج عنه زيادة عدد الخلايا كنتيجة لنمو الخلايا وانقسامها .

ولكن نظرا لصغر حجم خلايا الكائنات الدقيقة فان دراسة نمو وتكاثر خلايا الأحياء الدقيقة منفردة صعب الى حد ما ، وتجربى معظم دراسات النمو فى الكائنات الدقيقة على مجتمعات من الخلايا . وكما سبق ان ذكرنا بالنسبة للخلية فان النمو المتزن للمجتمع تكون زيادة الوزن فيه متزامنة بزيادة متناسبة فى المكونات الخلوية المختلفة للمجتمع مثل البروتين أو الأحماض النووية أو الماء الخلوى . . . الخ .

ولذلك . . . فعندما تنمو مزرعة نموا متزنا فانه يمكن قياس التغيير فى أى من مكونات الخلية بالنسبة للزمن كدليل على معدل النمو .

أولاً ، نمو وتكاثر الخلايا المنفردة :

Growth and reproduction of individual cell

ان نمو خلايا الكائنات الدقيقة ، ثم انقسامها هي عملية دورية - كما سبق الاشارة اليه - فالخلايا الصغيرة الناتجة عن الانقسام تمتص الغذاء من الوسط المحيط بها (في الأحياء التي تمتص الغذاء - Osmotrophic) أو تلتهمه (في الأحياء الدقيقة الملتهمه Phagotrophic) .

وقد سبق الاشارة الى ظاهرة الالتهام في البروتوزوا . أما امتصاص الغذاء فسنعرض له بالتفصيل بعد قليل . بعد دخول الغذاء الى الخلية يتم هضمه للحصول على الطاقة ووحدات بناء مكونات الخلية المختلفة ، وهي العمليات التي يطلق عليها " التمثيل الغذائي " أو " التفاعلات الأيضية " Metabolic activities وتستطيع بعض الأحياء الدقيقة الحصول على الطاقة من ضوء الشمس ، بينما يستطيع البعض الآخر الحصول على الطاقة من أكسدة المواد غير العضوية ... أو المواد العضوية . . وتسفر عمليات هدم الغذاء وبناء مكونات الخلية الى زيادة وزن الخلية وحجمها قبل انقسامها . وسنشرح بالتفصيل خطوات النمو في الخلية بعد عرض امتصاص الغذاء بواسطة الأحياء الدقيقة .

امتصاص الغذاء :

ان تركيز المواد المذابة في السيتوبلازم داخل الخلية يكون عادة أكبر من تركيز المواد الذائبة خارج الخلية ، سواء في البيئات الطبيعية أو المستنبات المعملية لتلك الأحياء الدقيقة ، علاوة على اختلاف المواد الذائبة داخل الخلية عن تلك لموجودة خارج الخلية . والحاجز الأساسي الذي يتحكم في مرور المواد الذائبة من أو الى داخل الخلية هو الغشاء الخلوي Cell membrane الذي سبق الاشارة الى تركيبه المعقد المكون من الفوسفوليبيدات والبروتينات والجليكوبروتينات Glucoproteins . وقد تم الاشارة أيضا - الى أن البكتيريا السالبة لصبغة جرام تحتوى على

غشاء خارجي Outer membrane شبيه بالغشاء الخلوي يلعب دورا محددًا في مرور جزيئات معينة من وإلى الخلية . كما تحتوى البكتيريا السالبة لصبغة جرام — أيضا — على فراغ بين الغشاء الخلوي وطبقات الجدار الخلوي يسمى الفراغ البيربلازمي Periplasmic space وتركيب يختلف عن داخل الخلية ، وذو تركيب يختلف أيضا عن الوسط الخارجى للخلية .

أما بالنسبة لمرور الجزيئات المختلفة ، فإن الغشاء الخلوي يؤدي الى عدة وظائف وهي :

- (١) الاحتفاظ بالمركبات الوسطية في مسارات البناء Pathways المختلفة والجزيئات الكبيرة Macro-molecules داخل الخلية .
- (٢) يعمل على ضخ العناصر الغذائية الى داخل الخلية حتى في حالة وجودها خارج الخلية بتركيز أقل من تركيزها داخل الخلية .
- (٣) يسمح لبعض العناصر الغذائية بالمرور بحرية من وإلى داخل الخلية .
- (٤) يمنع دخول بعض المواد الذائبة من الدخول الى الخلية .

ورغم أن تركيب الغشاء الخلوي من طبقة مزدوجة من الفوسفوليبيدات ، فإن له القدرة على السماح بمرور المركبات القطبية Polar في أجزاء خاصة منه ، وتعرف هذه الأجزاء باسم جهاز النقل الغشائي Membrane transport .

دخول العناصر الغذائية الى الخلية :

يحدث النقل الغشائي للعناصر المغذية خلال الغشاء الخلوي بعدد من الطرق وهي :

١- الانتشار الانسيابي أو البسيط Simple or passive diffusion

وفيه تنساب المواد من الوسط الأكثر تركيزا الى الوسط الأقل تركيزا خلال الغشاء الخلوي . وتتوقف سرعة هذا الانتشار على مدى الفرق فى

التركيز بين الوسطين .

ووجود مثل هذا النوع من النقل الغشائي حدى ببعض العلماء الى الاعتقاد بوجود أماكن في الغشاء الخلوى تسمح بحرية الحركة لبعض العناصر الغذائية والماء هو العنصر الغذائى الأساسى ينتقل الى داخل أو خارج الخلية بالانتشار الانسيابى .

٢- الانتشار المدعم : Facilitated diffusion

يشبه هذا النوع من النقل (النقل المدعم) سابقه (النقل الانسيابى) فى أن انتقال الجزيئات يتم أيضا من الوسط الأعلى فى التركيز الى الوسط الأقل فى التركيز ، وبذلك لا يحتاج دخول المواد الى الخلية الى بذل طاقة ، ويختلف عنه فى أن النقل المدعم يتم بواسطة ناقلات بروتينية خاصة (عوامل مساعدة تشبه الانزيمات التى تساعد فى التفاعلات الحيوية المختلفة) تسمى بـ *Permeases* ويمكن ايضاح مثل هذا التفاعل الانزيمى كما يلى :

مادة مغذية (خارج الخلية) $\xrightarrow{\text{permease}}$ مادة مغذية (داخل الخلية)

وهذه الناقلات البروتينية (انزيمات الادخال) ذات درجة عالية من التخصص . فكل نوع من هذه البروتينات يستطيع نقل جزيئات محددة فقط . وهى تستطيع عبور الغشاء الخلوى سواء أكانت مرتبطة بالجزيئات المنقولة أو حرة منها .

ومعدل دخول المواد بالانتشار المدعم أسرع كثيرا من الانتشار الانسيابى خاصة عندما تكون التركيزات منخفضة . أما اذا زاد تركيز المادة المغذية خارج الخلية فان سرعة التفاعل تتحدد وفقا لقوانين ميكيلس منتن *Michaelis-Menten* الخاصة بتشبع الانزيمات ، حيث يحسب معدل دخول المواد من معادلة ميكيلس كالآتى :

$$v^{\text{entry}} = v_{\text{max}}^{\text{entry}} \frac{(S)_{\text{ex}}}{K_m^{\text{entry}} + (S)_{\text{ex}}}$$

ويحسب معدل الخروج للمادة من نفس المعادلة كالآتي :

$$v^{\text{exit}} = v_{\text{max}}^{\text{exit}} \frac{(S)_{\text{in}}}{K_m^{\text{exit}} + (S)_{\text{in}}}$$

حيث تكون $(S)_{\text{ex}}$ و $(S)_{\text{in}}$ هي تركيز المادة الغذائية خارج وداخل الخلية على التوالي $v_{\text{max}}^{\text{in}}$ و $v_{\text{max}}^{\text{ex}}$ هي أعلى سرعة خروج ودخول للمادة الغذائية والتي يكون فيها الانزيم مشبعاً تماماً بالمادة الغذائية. K_m^{entry} و K_m^{exit} هي ثابت ميكيليس Michaelis constant (للخروج والدخول وهما متساويان) ونتيجة لذلك فإن عند الاتزان يكون معدل دخول المادة الغذائية ومعدل خروجها متساويين في الخلية متساويين .

وبالرغم من هذه الوسيلة في النقل (الانتشار المدعم) غير شائعة في الأحياء الدقيقة ذات النواة البدائية (البكتيريا) . والمركب الوحيد الذي ينقل إلى داخل خلية البكتيريا بالانتشار المدعم هو الجليسرول . أما الطريقة الشائعة للنقل في الأحياء الدقيقة ذات النواة البدائية (البكتيريا) فهي النقل النشط والتي نردها فيما يلي :

٣- النقل النشط : Active transport

إن ميكانيكية النقل النشط تشمل دخول عناصر مغذية من تركيز منخفض خارج الخلية إلى تركيز أعلى داخل الخلية . ونتيجة لذلك فإن هذه الطريقة في النقل تؤدي إلى تكوين تركيزات أعلى آلاف المرات داخل الخلايا عنها في خارج الخلايا . وترجع أهمية هذا النوع من النقل للبكتيريا - بصفة خاصة - إلى سرعة نمو وتكاثر البكتيريا حتى في البيئات المنخفضة التركيز . لذلك فالنقل النشط يتيح للبكتيريا النمو والتكاثر بسرعة حتى في البيئات المنخفضة ، ونتيجة لأن المواد الغذائية تنتقل من تركيز منخفض إلى

تركيز أعلى فانه من الضروري أن تبذل طاقة energy وهذا ما يحدث فعلا ، الا أن ميكانيكية فقد الطاقة المصاحب لدخول المواد بواسطة النقل النشط مازالت غير معروفة حتى الآن .

وعلى سبيل المثال . . نجد أن نظام النقل النشط للسكر الثنائي لاكتوز Lactose وهو يسمى نظام ادخال البيتا جلاكتوسايد β -galactoside permease system يقوم بنقل اللاكتوز لتركيزه داخل بكتيريا القولون E.coli حتى لو وجد في خارج الخلية بتركيز منخفض ، وينتج عن ذلك بذل كمية من الطاقة . وتستخدم الطاقة في تقليل ارتباط affinity البيرميسيز Permease للاكتوز داخل الخلية مقارنة بارتباط اللاكتوز للبيرميسيز خارج الخلية . ونتيجة لذلك تصبح K_m^{exit} اكبر من K_m^{entry} وتصبح سرعة الخروج أقل من سرعة الدخول (أنظر المعادلتين السابقتين) وعند الاتزان تصبح $(S)_{in}$ اكبر من $(S)_{ex}$.

واذا أوقف انتاج الطاقة في الخلية بإضافة مادة سامة مثل آزيد الصوديوم Sodium Azide فان البيتا جلاكتوسايد بيرميسيز β -galactoside Permease لن ينقل اللاكتوز بنظام النقل النشط ، ولكن ينقله فقط بنظام النقل المدعم . . حيث يكون ارتباط الانزيم باللاكتوز متساويا على وجهي الغشاء ، وعند الاتزان يصبح معدل الدخول مساويا لمعدل الخروج .

وقد تم عزل هذا البيرميسيز - بصفة خاصة - من بكتيريا القولون بواسطة معاملة الخلايا ببعض المنظفات الصناعية ويسمى بروتين M Protein والجين Gene المسئول عن انتاج هذا البروتين هو Lac γ . وبعض الطفرات في هذا الجين تؤدي الى عدم انتاج بيرميسيز جيد وبالتالي لا تستطيع الخلية ادخال اللاكتوز الى داخل الخلية حتى وان وجدت الانزيمات المحللة له بالداخل ، وتسمى مثل هذه الطفرات بالطفرات العاجرة Cryptic ومثل هذه الطفرات شائعة في الطبيعة .

ان عددا من أنظمة النقل النشط Active transport فى البكتيريا السالبة لصبغة جرام يكون متعلقا بما يعرف " بروتينات الارتباط Binding Proteins "والتي توجد فى الحيز البيريبلزمى Periplasmic space . والحيز البيريبلزمى هو الحيز الموجود بين الغشاء الخلوى وطبقات الجدار الخلوى الخارجية .

ويمكن فصل بروتينات الارتباط هذه من الخلايا بمعاملة تسمى " صدمة البرودة الأسموزية " Cold osmotic shock وهى عبارة عن خفض مفاجئ لل قوة الأسموزية للسائل المعلقة فيه الخلايا على درجة حرارة منخفضة . وتؤدى هذه المعاملة الى تحطيم الغشاء الخارجى للجدار الخلوى ، وتنتج عن ذلك تحرير البروتينات الموجودة فى الحيز البيريبلزمى فى المحلول الخارجى ، وهى تشمل بروتينات الارتباط ، وهى ذات قدرة عالية للارتباط High affinity لعناصر مغذية معينة ، وقد تم فصل أكثر من ١٠٠ بروتين ارتباط مختلف ودراستها . وهذه البروتينات ليس لها نشاط انزيمى ولكنها تكون مركبات معقدة مع عناصر مغذية خاصة بما فى ذلك الأحماض الأمينية والسكريات والأيونات غير العضوية .

وبروتينات الارتباط أساسية فى النقل النشط للعناصر المغذية التى ترتبط بها . ويبدو ذلك واضحا من الطفرات التى تفقد القدرة على تكوين بروتين ارتباط معين . فان مثل هذه الطفرات تفقد القدرة على تركيز العنصر الغذائى - القابل للارتباط بهذا البروتين - داخل الخلية .

كما أن بروتينات الارتباط ليست بيريبيزات Permeases نظرا لأنها غير مرتبطة بالغشاء الخلوى ، ولكنها توجد ذائبة فى الماء فى الحيز البيريبلزمى . كما أن بروتينات الارتباط هذه تؤدى وظيفتها فى تكامل مع بيريبيزات Permeases خاصة فى الغشاء الخلوى وتكوين طفرة تؤدى الى فقد بروتين الارتباط أو البيريبيز Permease تؤدى الى تكوين طفرة

عاجزة . Cryptic mutant .

٥- النقل المصحوب بالتغيير الكيميائي : Group translocation :

ان عملية النقل النشط تشمل نقل عناصر مغذية من وسط أقل تركيزا خارج الخلية الى وسط أكثر تركيزا داخل الخلية دون احداث أى تغيير كيميائي فى المادة المنقولة .

بعض أنواع البكتيريا تحتوى — علاوة على النقل النشط — نظاما آخر للنقل يشمل احداث تغيير كيميائي فى المادة أثناء نقلها عبر الغشاء ، ويسمى هذا النظام " بنظام النقل المصحوب بالتغيير الكيميائي Group translocation وهذا النظام لا يعتبر نظام نقل نشط ، حيث أن تركيز المادة التى لم يحدث عليها تغيير كيميائي يظل منخفضا داخل الخلية دائما .

ولكن النظام يشبه أنظمة النقل النشط حيث أن المادة الكيميائية المعدلة التى تتراكم داخل الخلية يصبح أكبر بكثير من تركيز المادة غير المعدلة خارج الخلية . وكما ان على النقل المصحوب بالتغيير الكيميائي نظام الفوسفوترانسفيراز Phosphotransferase فهذا البروتين يعمل على نقل عدد من السكريات ومشتقاتها من خارج الخلية . وعندما تصل هذه السكريات الى داخل الخلية تصبح سكريات مفسفرة Phosphorylated sugars .

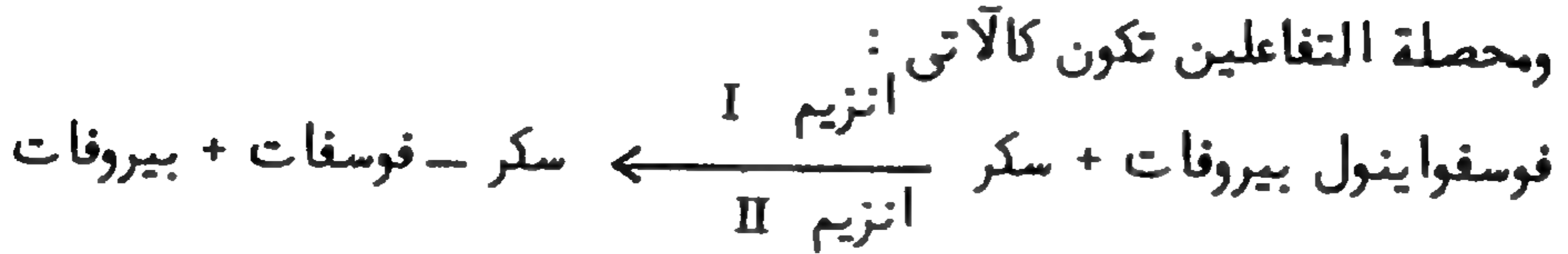
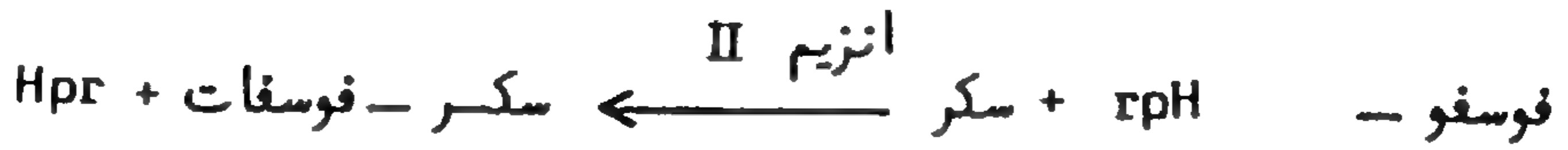
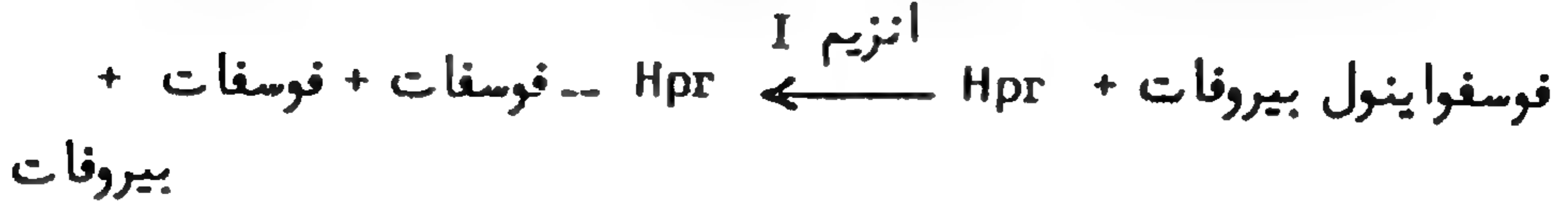
وتحدث عملية الفسفرة أثناء النقل . وحيث أن الغشاء الخلوى غير منفذ للمركبات المفسفرة فان هذه السكريات المفسفرة تحتجز داخل الخلية ولا تخرج منها .

ويتكون نظام النقل المصحوب بالتغيير الكيميائي من مجموعتين :

أ- المكونات غير المتخصصة Non-specific components وهى تشمل Enzymes I وبروتين آخر غنى فى الهستدين يسمى Hpr . يستقبل مجموعة الفوسفات الغنية فى الطاقة من الفوسفواينول بيروفوسفات

ليكون Hpr ذو مجموعة فوسفات غنية في الطاقة .

ب — المكونات المتخصصة للمواد الغذائية المنقولة : وهي عبارة عن بروتينات مرتبطة بالغشاء الخلوي تسمى انزيمات Enzymes II تؤدي الى فسفرة السكر أثناء نقله بواسطة البروتين Hpr ذو — مجموعة الفوسفات الغنية في الطاقة كما في المعادلات التالية :



وكل نوع من أنواع البكتيريا يحتوى على نوع واحد من انزيم I ونوع واحد من Hpr قادرين على العمل في نقل العديد من السكريات . لذلك فان الطفرة التي تؤدي الى ائتلاف أيا من هذين البروتينين تؤدي الى عدم نقل كل السكريات الى داخل الخلية وبالتالي عدم القدرة على استعمالها .

ويوجد في كل نوع من أنواع البكتيريا العديد من أنزيمات II وكل من أنزيمات II يعمل في ادخال سكر واحد ، لذلك فالطفرة التي تؤدي الى ائتلاف انزيم II ينتج عنها فقد قدرة الخلية على استعمال سكر واحد فقط . أنزيمات II المرتبطة بغشاء الخلية تلعب دور البيرمييزات Permeases علاوة على قدرتها على الفسفرة Phosphorylation ، والطفرات التي فقدت انزيم I أو Hpr تقوم فيها انزيمات II بعمل النقل المدعم

وقد يبدو للوهلة الأولى أن نظام النقل المصحوب بالتغيير الكيميائي يؤدي الى اهدار الطاقة نتيجة فقد رابطة فوسفات غنية في الطاقة عند ادخال المادة المغذية الى الخلية ، ولكن ذلك ليس صحيحا ، إذ أن عملية النقل هذه تشمل تحويل السكر الى سكر — فوسفات وتكوين مثل هذا

المركب في الحالات الأخرى يشمل أيضا فقد رابطة فوسفات غنية فـسـى الطاقة يتم الحصول عليها من ATP في تفاعل انزيم الكينيز Kinase.

تأثير المواد الذائبة على النمو والنشاط الأيضى للأحياء الدقيقة :

تلعب نظم نقل العناصر المغذية دورين أساسيين في وظائف الخلية :

أولا : الحفاظ على تركيز داخلى لكل العناصر المغذية الأولية Primary substrates عند مستوى عالى بالدرجة الكافية لتأمين انتاج الطاقة ، وكذلك بناء مكونات الخلية المختلفة على مستوى قريب من الحد الأقصى . حتى عندما يكون تركيز هذه العناصر المغذية الأولية فى الوسط الخارجى منخفض . ويستدل على ذلك من استمرار الخلايا فى مجتمع من الخلايا فى التكاثر بطريقة لوغاريتمية (أنظر نمو المجتمعات) حتى يصل أحد العناصر المغذية الأساسية الى تركيز منخفض جدا (يكاد يكون صفر) . وعندما يصل التركيز الى هذا الحد المنخفض جدا ينخفض معدل التكاثر بسرعة شديدة الى الصفر .

ثانيا : العمل على تنظيم الضغط الأسموزى Osmoregulation وذلك بحفظ المواد الذائبة (وخاصة الجزيئات الصغيرة والأيونات) على مستوى أمثل للنشاطات الأيضية حتى وان اختلف الضغط الأسموزى خارج الخلية فى مدى كبير نسبيا .

ولا تحتاج معظم البكتيريا لتنظيم الضغط الأسموزى الداخلى بدقة كبيرة لأن وجود الجدار الخلوى – القادر على تحمل قدر كبير من الضغط الداخلى – يحمى الخلية من الانفجار . وتحفظ البكتيريا دائما بضغط أسموزى داخلى أعلى من الضغط الأسموزى للوسط المحيط بها . أما اذا انخفض الضغط الأسموزى الداخلى الى حد أقل من الضغط الأسموزى الخارجى فان الماء الخلوى يبدأ فى الخروج من الخلية ويقل حجم السيتوبلازم مسببا تحطم الغشاء الخلوى . فى البكتيريا الموجبة

لجرام ينفصل الغشاء الخلوى على الجدار الخلوى ، ويقال بأن الخلية تبلزمت Plasmolyzed.

أما فى البكتيريا السالبة لصبغة جرام فلا يحدث لها البلزمة على النمط السابق ولكن الجدار الخلوى ينجذب للداخل تابعا للغشاء الخلوى ، وهذا أيضا يزيد من تحطم الغشاء الخلوى .

تختلف البكتيريا كثيرا فى احتياجاتها من الضغط الأسموزى الخارجى ، فبعض البكتيريا تنمو فقط فى محاليل مخففة ، ولكن البعض الآخر ينمو فى محاليل مشبعة من كلوريد الصوديوم .

وتقسم الكائنات الدقيقة وفقا لقدرتها على تحمل الضغط الأسموزى العالى فى الأوساط الخارجية الى ما يلى :

(١) الأحياء الدقيقة التى تتحمل ضغط أسموزى مرتفع ناتج عن السكر Osmotolerant وهى الأحياء الدقيقة التى تعيش على الضغوط الأسموزية المنخفضة ، ولكنها تتحمل الضغوط الأسموزية المرتفعة فى الأوساط الخارجية مثل عدد كبير من الخمائر والفطريات .

(٢) الأحياء الدقيقة المحبة لضغط أسموزى ناتج عن السكر Osmophilic وهى أحياء دقيقة تحتاج الى ضغط أسموزى عالى فى الوسط الخارجى حتى تستطيع أن تعيش . . ومن أمثلتها الفطر-Xeromyces bisporus .

(٣) الأحياء الدقيقة التى تتطلب الملح بصفة اجبارية Obligate halophile وهى أحياء دقيقة تتطلب كلوريد الصوديوم لنموها بصفة اجبارية ، ولا يمكنها أن تنمو فى غيابه .

(٤) الأحياء الدقيقة التى تتطلب الملح بصفة اختيارية Facultative halophiles وهى أحياء دقيقة تنمو فى وجود أو غياب الملح (كلوريد الصوديوم) .

(٥) الأحياء الدقيقة التى تتطلب محاليل مشبعة من الملح بصفة اجبارية Extreme halophiles وهى مجموعة من الأحياء الدقيقة لا تنمو

الا في المحاليل المشبعة من كلوريد الصوديوم . والاحتياج لكلوريد الصوديوم في حالات الأحياء الدقيقة التي تتطلب الملح بصفة اجبارية لنموها احتياج أساسي ولا يمكن احلاله بكلوريد البوتاسيوم أو أى أملاح أخرى أحادية التكافؤ . . وفيما يبدو أن الصوديوم يلعب دورا هاما فى ثبات الجدار الخلوى للبكتيريا التي تتطلب محاليل ملحية مشبعة بصفة اجبارية مثل *Halobacterium* والذي لا يحتوى جداره الخلوى على مادة الببتيد وجليكان مما يجعل الخلايا تنفجر اذا وضعت فى الماء . . على عكس أنواع البكتيريا الأخرى (التي لا تتطلب وجود الملح لنموها) التي يبدو أن الصوديوم لا يلعب دورا رئيسيا فيها ، ولا يبدو لها احتياج واضح للصوديوم ، وهذه المجموعة من البكتيريا تعتمد على البوتاسيوم لتنظيم ضغطها الأسموزى الداخلى مما يمكنها من النمو فى أوساط تختلف كثيرا فى ضغطها الأسموزى ، وقد لوحظ فى العديد من البكتيريا تراكم أيون البوتاسيوم (K^+) أكثر من الصوديوم بدرجسة كبيرة عند وضعها فى وسط ذو ضغط أسموزى مرتفع . كما توجد علاقة واضحة بين قدرة البكتيريا على تحمل الضغوط الأسموزية المرتفعة وكذلك محتوياتها من البوتاسيوم . .

تكوين وافراز الانزيمات:

الأحياء الدقيقة ذات النواة الحقيقية الخالية من الجدار الخلوى لديها القدرة على ابتلاع الغذاء وقطرات السوائل بميكانيكية الابتلاع *Phagocytosis* أو الشرب *Pinocytosis* الذين سبق الاشارة اليهما . ولكن البكتيريا ذات الجدار الخلوى لا تستطيع ذلك ، ولكنها فى نفس الوقت لها القدرة على التغذى على عدد من الجزيئات الكبيرة *Macromolecules* بما فى ذلك عديدات السكر *Polysaccharides* والبروتينات والأحماض النووية ، ومعظم هذه المواد لا يمكنها عبور الغشاء الخلوى . وبناء عليه فانه يتم تكسيرها أو تحليلها خارج الخلية بواسطة انزيمات تفرزها الخلية تسمى الانزيمات الخارجية *Exoenzymes* تبتش فى الخلية وتفرز للخارج . والانزيمات الخارجية عبارة عن انزيمات تحليل مائى *Hydrolases* تؤدي الى تحليل الجزيئات الكبيرة تحليلا مائيا الى

نواتج قابلة للذوبان في الماء ، ويمكنها الانتقال خلال الغشاء بواسطة نظم النقل المختلفة في الخلية لتعمل كمصدر للطاقة أو بناء المكونات المختلفة للخلية ، ويسمى التحلل المائي لهذه الجزيئات الكبيرة خارج الخلية " بالهضم خارج الخلية " Extracellular digestion لتمييزه عن الهضم داخل الخلية Intracellular digestion الذي يحدث بعد الابتلاع Phagocytosis في ذوات النواة الحقيقية .

عندما تظهر مستعمرات ميكروبية على مستبتات آجار صلبة تحتوى على جزيئات غذائية كبيرة غير ذائبة (مكونة راسب في الآجار) فـسـان المستعمرات تكون حولها مناطق رائية تتكون نتيجة افراز انزيمات خارج الخلايا تهضم الجزيئات الكبيرة غير الذائبة وتحولها الى جزيئات صغيرة ذائبة لا تظهر في الآجار . وهذه الجزيئات الصغيرة يمكنها اختراق غشاء الخلية بواسطة نظم النقل المختلفة ، بينما لا يمكن دخول الجزيئات الكبيرة عبر الغشاء الخلوى . والجدول (١-١) يوضح بعض انزيمات خارج الخلية وفعلها ونواتجها والكائنات التي تفرزها .

وليست كل انزيمات خارج الخلية تفرز بهدف الحصول على الطاقة أو مكونات الخلية المختلفة ، بل أحيانا ما تفرز الخلية أنزيمات خارج الخلية لأهداف أخرى مثل افراز أنزيم البنسلينيز Penicillianase الذى تفرزه بعض أنواع البكتيريا لحماية نفسها من نشاط البنسلين عليها وهكذا .

الانزيمات البيريبلازمية : Periplasmic enzymes

يحتوى الحيز البيريبلازمى Periplasmic space (الحيز بين الغشاء الخلوى وطبقات الجدار الخلوى) فى البكتيريا السالبة لصبغة جرام على انزيمات تسمى الانزيمات البيريبلازمية . وحيث أن هذه الانزيمات تقع خارج الغشاء الخلوى فهى بالقطع انزيمات خارج الخلية Exoenzymes ولكنها لا تستطيع اختراق طبقات الجدار الخلوى الخارجية (الغشاء الخارجى) ولذلك تظل محبوسة فى الحيز البيريبلازمى .

جدول ١١-١ : أمثلة لبعض الانزيمات الخارجية والأحياء الدقيقة
(بدائية النواة) التي تفرزها

الانزيمات الخارجية	المادة التي تحللها	الجزئيات التي تدخل الخلية عبر الغشاء الخلوي	البكتيريا التي تفرز الانزيم
الأنزيمات المحللة للكربوهيدرات :			
الأميليز	النشا	جلوكوز - مالتوز - سكريدات عديدة	باسيلس ساتلس <u>Bacillus subtilis</u>
البكتينيز	البكتين	حمص الجلكتوبورونيك	باسيلس بوليمكسا <u>B. polymyxa</u>
السليوليز	السليولوز	جلوكوز - سلوبروز	كلوستريديم ثرموسيلم <u>Clostridium thermocellum</u>
ليسوزايم	الببتيد وجلليكان		ستافيلوكوكاس أوريوس <u>Staphylococcus aureus</u>
الشيتينيز	الشيتين	الشيتوبروز	
الأنزيمات المحللة للبروتين	Proteinases		
الببتيديز	الببتيدات	الأحماض الأمينية	باسيلس ميجاتيريوم <u>B. megaterium</u>
الأنزيمات المحللة للأحماض النووية	Nucleases		
DNase	دن أ	دي أوكسي نيوكليوتيدات	ستربتوكوكاس هيموليتيكاس <u>Streptococcus hemolyticus</u>
RNase	رن أ	ريبونيكليوتيدات	باسيلس ساتلس <u>Bacillus subtilis</u>
الأنزيمات المحللة للدهون			
ليباز	الليبيدات	الجليسرول والأحماض الدهنية ..	كلوستريديم ولشاي <u>Clostridium welchii</u>

تابع جدول ١١-١ : أمثلة لبعض الانزيمات الخارجية والأحياء الدقيقة
(بدائية النواة) التي تفرزها . .

الأنزيمات الخارجية	المادة التي تحللها	الجزئيات التي تدخل الخلية عبر الغشاء الخلوي	المكتبرها التي تفرزها الانزيم
الأنزيمات المحللة للبولي بيتا هيد روكس هوترات :			
دي بوليميريز	بولي بيتا هيد روكس هوترات	بيتا هيد روكس هوتريل بيتا هيد روكس هوترات	سود وموناس Pseudomonas

ويمكن تحريرها من هذا الحيز اما بمعاملات طبيعية كصدمة البرودة الأسموزية (وذلك بتعريض الخلايا لخفض سريع في الضغط الأسموزي الخارجي عند درجة حرارة منخفضة) أو بمعاملات كيميائية (مثل المعاملة باللايسوزايم Lysozyme في وجود مادة ماسكة للأيونات Chelat-ing agent مثل حمض الايثلين داي أمين تتراسيتيك Ethylene Diamine . Tetra Acetic Acid والتي يرمز لها بالرمز EDTA ، وقد لوحظ أن عددا قليلا نسبيا من الانزيمات الموجودة في الحيز البيريلازمي ذو وظيفة هضمية (جدول ١١-٢) . بينما تكون معظم الانزيمات في هذا الحيز عبارة عن انزيمات فوسفاتيز التي تحول المركبات المفسفرة - التي لا تستطيع عبور الغشاء الخلوي - الى مركبات حرة من الفوسفور (انزيمات ٣-٧ في جدول ١١-٢) كما تشمل الانزيمات البيريلازمية على انزيم البنسلينيز .

ومن المهم أن نشير الى أن عددا كبيرا من الانزيمات البيريلازمية في البكتيريا السالبة لصبغة جرام المذكورة تفرزها البكتيريا السالبة لصبغة جرام في الوسط الخارجي True Exoenzymes مثل انزيمات الريبونيكلييزا والبنسلينيزات .

وبالاضافة للانزيمات البيريلازمية في البكتيريا السالبة لصبغة جرام فان هذه المجموعة من البكتيريا تفرز بعض انزيمات أخرى تستطيع العبور

الى خارج الخلية تمام True exoenzymes ولا يعرف لماذا تستطيع بعض الانزيمات اختراق طبقات الجدار الخلوى بينما لا يستطيع البعض الآخر من الانزيمات عمل ذلك .

جدول ١١-٢ : بعض الانزيمات الموجودة فى الحيز البيرلازمى

٢	الانزيم	التفاعل الذى يساعد
١	ريبونوكليماز I	يحلل الحىض النووى ر ن أ
٢	دن أ اندونوكليماز I	يحلل الحىض النووى دن أ من الداخل
٣	الفوسفاتيز القلوى	يزيل مجموعات الفوسفات من عدد من المركبات العضوية .
٤	نيوكليوتيداز - ٥' nucleotidase	يحول عدد ا من النيوكليوتيدات السى نيوكليوسيدات .
٥	هكسوز فوسفاتيز حمضى	يزيل مجموعات الفوسفات من عدد من السكريات المفسرة .
٦	فوسفاتيز حمضى	يزيل مجموعات الفوسفات من عدد من المركبات العضوية .
٧	فوسفوداى استريز المركبات الحلقية	يحول ريبونوكليوسيد ٢' - ٣' الحلقى السى نيوكليوسيد + فوسفات
٨	البنسليناز	يحلل البنسلين وبالتالى يوقف فعله ضد البكتيريا .

الانزيمات خارج الخلية المرتبطة بالغشاء الخلوى

Cell bound exoenzymes

وهى انزيمات خارج الغشاء الخلوى ، ولكنها مرتبطة بشدة بسـه مثل الانزيمات المسئولة عن تحليل السليلوز فى مجموعة البكتيريا المسماة Cytophage وليس معروفا كيف تخرج هذه الانزيمات الى خارج الغشاء الخلوى حيث لا يوجد نظام لنقلها ؟ ويعتقد البعض بوجود ريبوسومات

مرتبطة بالغشاء الخلوي ، وهي تقوم ببناء هذه الانزيمات وتمررها إلى خارج الغشاء مباشرة كسلسلة منفردة من الأحماض الأمينية ، ولكن بعض هذه الانزيمات يوجد داخل الخلية مما يضعف هذا الاعتقاد .

ومعظم هذه الانزيمات ذات وزن جزيئي منخفض حوالي ٢٠.٠٠٠ ر – ولكن البكتيريا *Pseudomonas myxogenes* تفرز انزيم خارج الخلية ومرتبط بالغشاء ذو وزن جزيئي يصل إلى ٧٧.٠٠٠ وهو البروتيز *Protease* .

وبعد نفاذ المواد الغذائية إلى داخل الخلية تقوم الخلية بعملية التمثيل الغذائي المختلفة من إنتاج طاقة وإنتاج مكونات الخلية وتنمو في الحجم والوزن إلى أن تنقسم إلى خليتين .

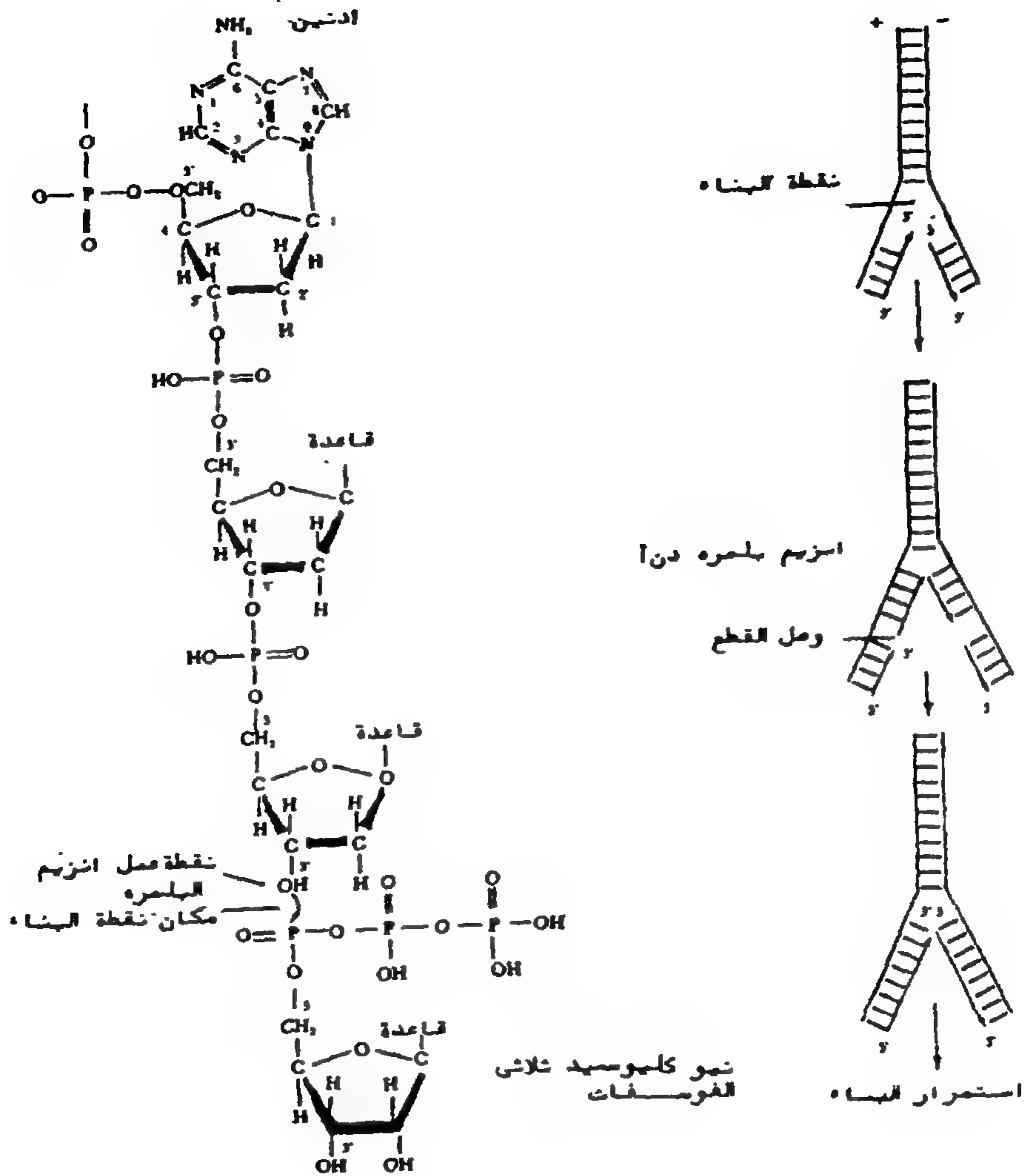
انقسام الكروموسوم لتكوين نسخة طبق الأصل :

Chromosome replication

ان انقسام الكروموسوم لتكوين نسخة طبق الأصل منه هي خطوة أساسية تسبق انقسام الخلية إلى خليتين . بل ان الخلايا التي تنمو نموًا لوغاريتميًا عادة ما تحتوي على أربع كروموسومات . وقد ذكرت حالات احتوت فيها الخلايا على سبع كروموسومات . ولا يعني وجود أكثر من كروموسوم في نفس الخلية أن الخلية تتغير من أحادية الأساس الكروموسومي haploid إلى ثنائية diploid أو عديدة الأساس الكروموسومي Polyploid إذ أن جميع الكروموسومات هي نسخ طبق الأصل ، علاوة على أنه عندما تنتهي مرحلة النمو اللوغاريتمي فإن كل خلية تحتوي على كروموسوم واحد فقط .

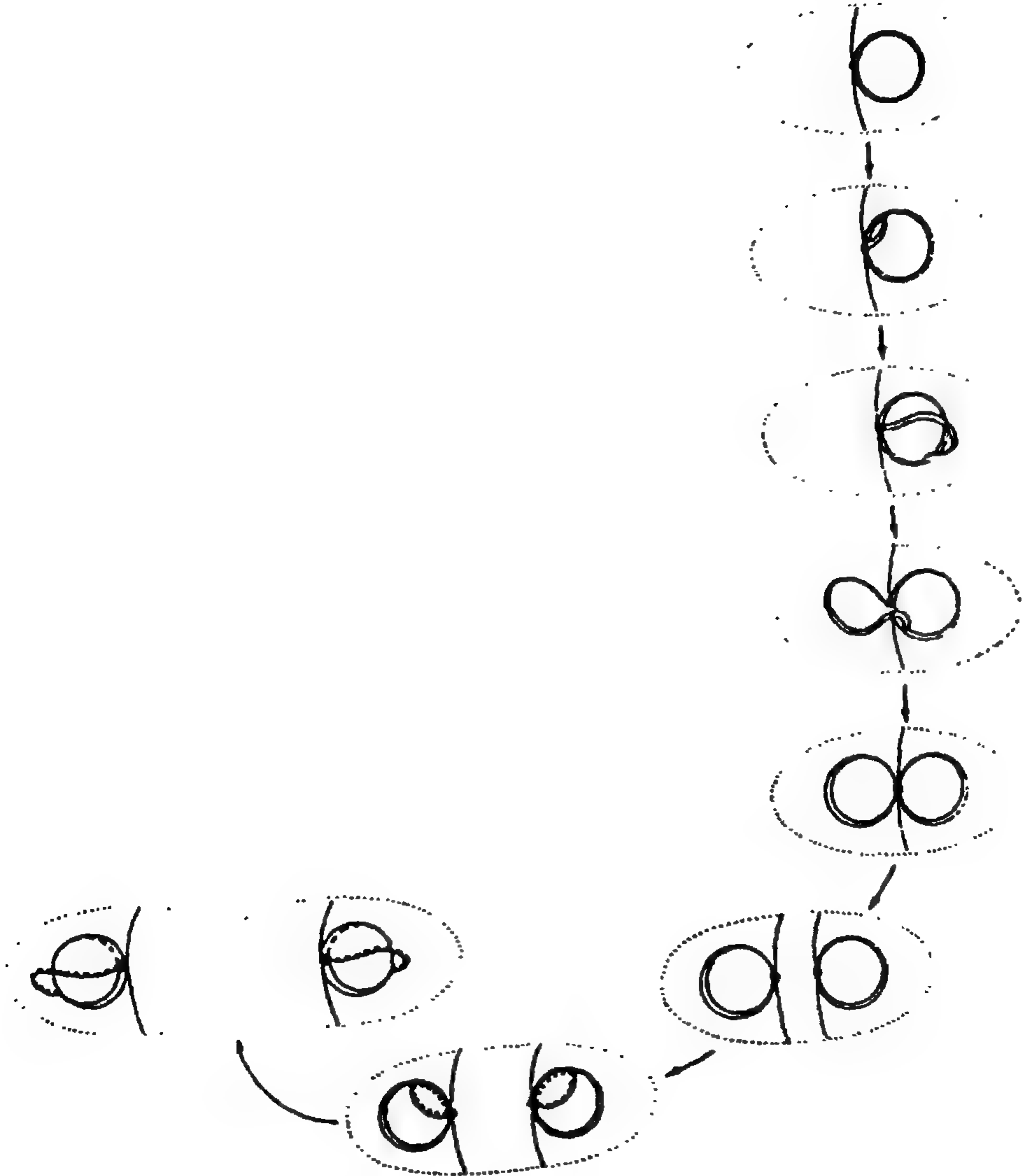
ان تركيب جزيء الحمض النووي DNA الذي اقترحه واتسون وكريك Watson and Crick سنة ١٩٥٣ م يفرض الكيفية التي ينسخ بها الكروموسوم بدقة متناهية . فالكروموسوم عبارة عن سلسلة مزدوجة Double-helix . كل سلسلة مكونة من جزيئات ٢ دي أوكسيريبيوز 2-deoxyribose مرتبط مع بعضها برابطة داي استر فوسفاتية Phospho diester bonds مرة على مجموعة الهيدروكسيل على ذرة الكربون رقم ٣ ومرة على مجموعة الهيدروكسيل على ذرة الكربون رقم (٥) . ترتبط

قواعد البيورين والبيريميدين على ذرة الكربون رقم (١) متجهة للداخل في كلتا السلسلتين . وترتبط كل قاعدة بيورين في إحدى السلسلتين بقاعدة بيريميدين على السلسلة الأخرى ، فيرتبط الجوانين (G) بالسيتوزين (C) ويرتبط الآدينين (A) بالثيمين (T) . وعند وجود هذه القواعد في الصورة الكيتونية (وليس الصورة الأينولية) والصورة الأمينية Amino (وليس الأيمينو Imino) ، فإن ثلاث روابط هيدروجينية Hydrogen bonds تتكون بين الجوانين والسيتوزين أما الثيمين والآدينين فيرتبط بينهما رابطتين هيدروجينيتين فقط كما في شكل (١٤-٦) . وترتيب هذه القواعد يمثل الخواص الوراثية لكل كائن وتكون هاتين السلسلتين متوازيتين تماما إلا أن أحدهما تكون عكس الأخرى ، بمعنى أن إحدى السلسلتين تتجه من ٣' إلى ٥' بينما تتجه السلسلة الأخرى من ٥' إلى ٣' ، لذلك يقال أنها ذو تواز عكسي (مضاد) Antiparallel . وهناك دليل جيد على أن تركيب وبناء الحمض النووي DNA في كلا النوعين من الأحياء الدقيقة (ذات النواة البدائية وذات النواة الحقيقية) متماثل ويتم بلمرة الحمض النووي الجديد بواسطة انزيم بلمرة خاص يسمى DNA Polymerase فتتفصل السلسلتان ويبدأ تكوين سلسلة مكملية جديدة لكلا السلسلتين المنفصلتين ، وانزيم البلمرة الخاص يعمل في اتجاه واحد ٥' ← ٣' . لذلك لا تتكون السلسلتين بإضافات مستمرة باستمرار انفصال السلسلتين ، ولكن انزيم البلمرة الخاص يعمل على إضافة قطع صغيرة من ٥' إلى ٣' في كلا الاتجاهين ثم يقوم انزيم ربط خاص DNA Ligase يربط هذه القطع الصغيرة مع بعضها . وتستمر عمليات انفصال السلسلتين والبلمرة في الاتجاهين ثم الربط إلى أن يتكون كروموسوم جديد نسخة طبق الأصل من الكروموسوم الأصلي ، وبذلك فإن الكروموسوم الأصلي يعمل كأساس لتكوين كروموسومين متماثلين تماما . كما أن الكروموسوم الأصلي يعمل كمادة أولية للتفاعل Primer فانزيم DNA Polymerase لا يستطيع تكوين جزيء DNA من مخلوط من النيكليوتيدات Nucleotides بدون وجود حمض نووي DNA لبدء التفاعل . وهذا الانزيم له القدرة في نسخ جزيئات DNA الموجودة في بداية التفاعل Primers فقط (شكل ١١-١) .



شكل ١١-١ : يتم تضاعف دنا دائما عند النهاية ٣' لكل سلسلة . ولذلك فان اتجاه بناء دنا يكون دائما ٥' إلى ٣' حيث يتم تكوين السلسلة من قطع صغيرة من دنا على احدى السلسلتين ، والربط بين هذه القطع بواسطة إنزيم Ligase ، أما على السلسلة الثانية فان النيوكليوتيدات تكون السلسلة المكتملة نتيجة نشاط إنزيم بلمرة دنا DNA Polymerase

وقد سبق الإشارة لدور الميسومات في ذوات النواة البدائية
في انقسام جزيء الحمض النووي DNA (شكل ١١-٢) يوضح الخطوات
التي يتم فيها انفصال السلسلتين وتكوين الجزيئات الجديدة متصلة
بالغشاء الخلوي ، ثم بدء سلسلة جديدة .



شكل ١١-٢ : يتضاعف دنا في ذوات النواة البدائية وينفصل خلال انقسام
الخلية ويتم تضاعف دنا من نقطة محددة على الكروموسوم ويتقدم مسن
الجهتين ...

أما الأحياء الدقيقة ذات النواة الحقيقية فهي تحتوى على عدد من الكروموسومات أطول كثيرا من الكروموسوم فى الأحياء الدقيقة ذات النواة البدائية . ويبدأ انفصال السلسلتين والبلمرة فى عدة نقاط على طول الكروموسوم فى كلا الاتجاهين ، ويعتبر ذلك ميزة هامة ، اذ أن تكوين الكروموسوم فى عدة نقط وفى الاتجاهين يسمح باختصار كبير فى الوقت اللازم للانقسام .

نسبة القواعد النيتروجينية فى الأحماض النووية د ن أ .

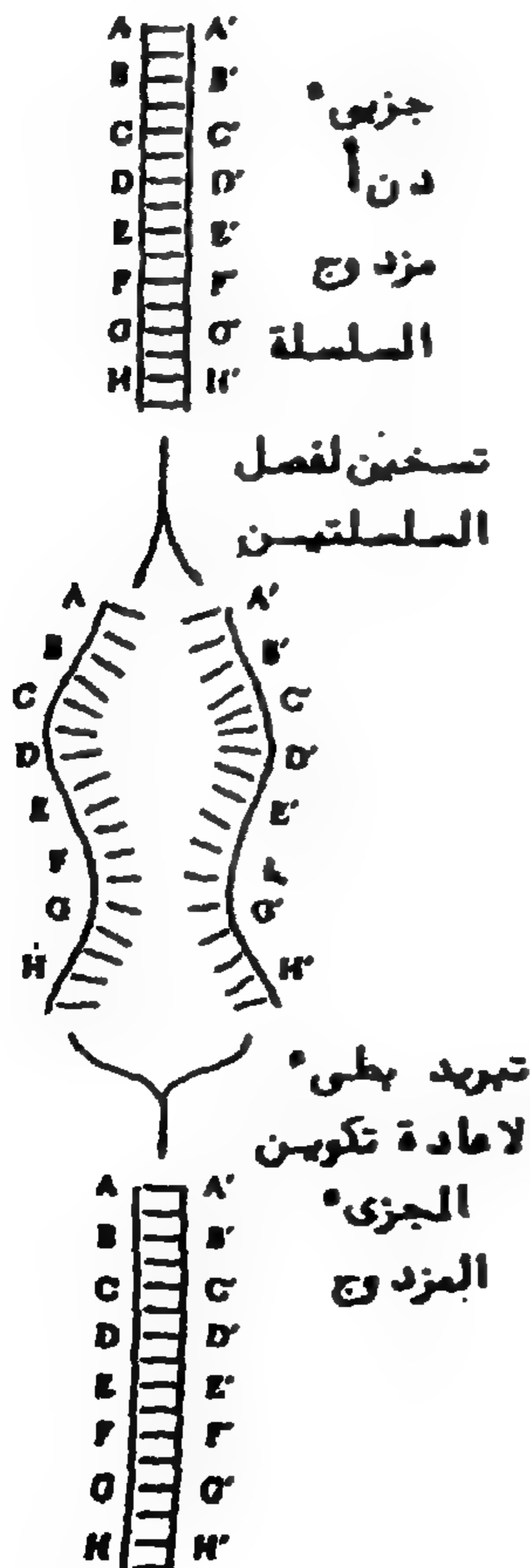
DNA base composition

لا شك أن معرفة ترتيب القواعد النيتروجينية فى الأحياء المختلفة يعتبر الحل الأمثل لتقدير مدى قرابة الأحياء المختلفة لبعضها . ولكن معرفة مثل هذا الترتيب مازالت بعيدة المنال . لذلك لجأ العلماء لدراسة النسب المختلفة من القواعد النيتروجينية المختلفة فى الأحماض النووية د ن أ فى الأحياء الدقيقة . والمعروف أن الأحماض النووية د ن أ يوجد بها الآدينين مساويا للثيمين . أما الجوانين فيكون مساويا للسيتوزين ، ولكن نسبة الآدينين — ثيمين تختلف كثيرا عن نسبة الجوانين — سيتوزين فى الأحياء المختلفة . لذلك فإن نسبة الجوانين — سيتوزين تتخذ كثيرا كدليل على اختلاف أنواع مختلفة من الكائنات . فإذا فرض أن كائنين متشابهين الى حد ما فى الصفات الظاهرية ، ولكن أحدهما يحتوى على نسبة جوانين — سيتوزين ٤٠ ٪ والثانى يحتوى على نسبة جوانين — سيتوزين ٧٠ ٪ فإن ذلك يؤكد اختلاف هذين الكائنين عن بعضهما حتى وإن تشابهتا فى بعض الصفات .

ويعبر عن نسبة القواعد فى الحامض النووى باسم Base composition of DNA وهي تقدر كنسبة مئوية لعدد مولات الجوانين + الستوزين (C + G) وسنرمز لها باللغة العربية بالرمز (ح + س) أما الآدينين + ثيمين (A + T) فسنرمز لها بالرمز (أ + ت) . ولا بد أن نذكر قد تبادر الى ذهن القارئ أنه عندما تكون نسبة (ح + س) = ٤٠ ٪ فإنه

من الضروري أن تكون نسبة (أ + ت) مساوية الى ٦٠ ٪ وذلك لأن المجموع للنسبتين لا بد وأن يساوى ١٠٠ ٪

وتتراوح نسبة (ح + س) فى الأحياء الدقيقة المختلفة من ٢٢ الى ٧٤ ٪ ، وبسبب وجود عدة شفرات لمعظم الأحماض الأمينية (جدول ١١-٣) فإنه من الممكن أن تختلف نسبة (ح + س) فى الأحياء الدقيقة اختلافا بسيطا (أقل من ١٠ ٪) مع استمرار تكوينها لنفس البروتينات ، ولكن عندما تختلف نسبة (ح + س) اختلافا كبيرا (أكثر من ١٠ ٪) فى نوعين من الكائنات كما ذكرنا فان ذلك يؤخذ كدليل على اختلاف النوعين اختلافا جوهريا .



شكل ١١-٣ : انصهار د ن أ
بالحرارة الى سلاسل منفردة
ثم اعادة تكوين السلاسل
لمزدوجة بالتبريد البطى

ولا يعنى تشابه كائنين فى نسبة (ح + س) أنهما متماثلين تماما ، فمن الممكن أن يحتوى نوعين مختلفين من الكائنات الحية الدقيقة على نسبة (ح + س) واحدة ولتكن ٤٥ ٪ مثلا . ولا يدل ذلك على أن هذين النوعين هما فى الحقيقة نوع واحد . إذ أنه من الممكن أن يتساوى نوعان من الأحياء الدقيقة فى نسبة (ح + س) ولكن يكون ترتيب القواعد فى كلاهما مختلف تماما . ولذلك عند تشابه نوعين من الأحياء الدقيقة فى نسبة (ح + س) ومعظم الصفات التقسيمية المختلفة مع وجود فوارق تمنع وضعها فى نوع واحد ، فانه كثيرا ما تجرى دراسات أخرى تسمى تهجين الأحماض النووية وتماثلها .

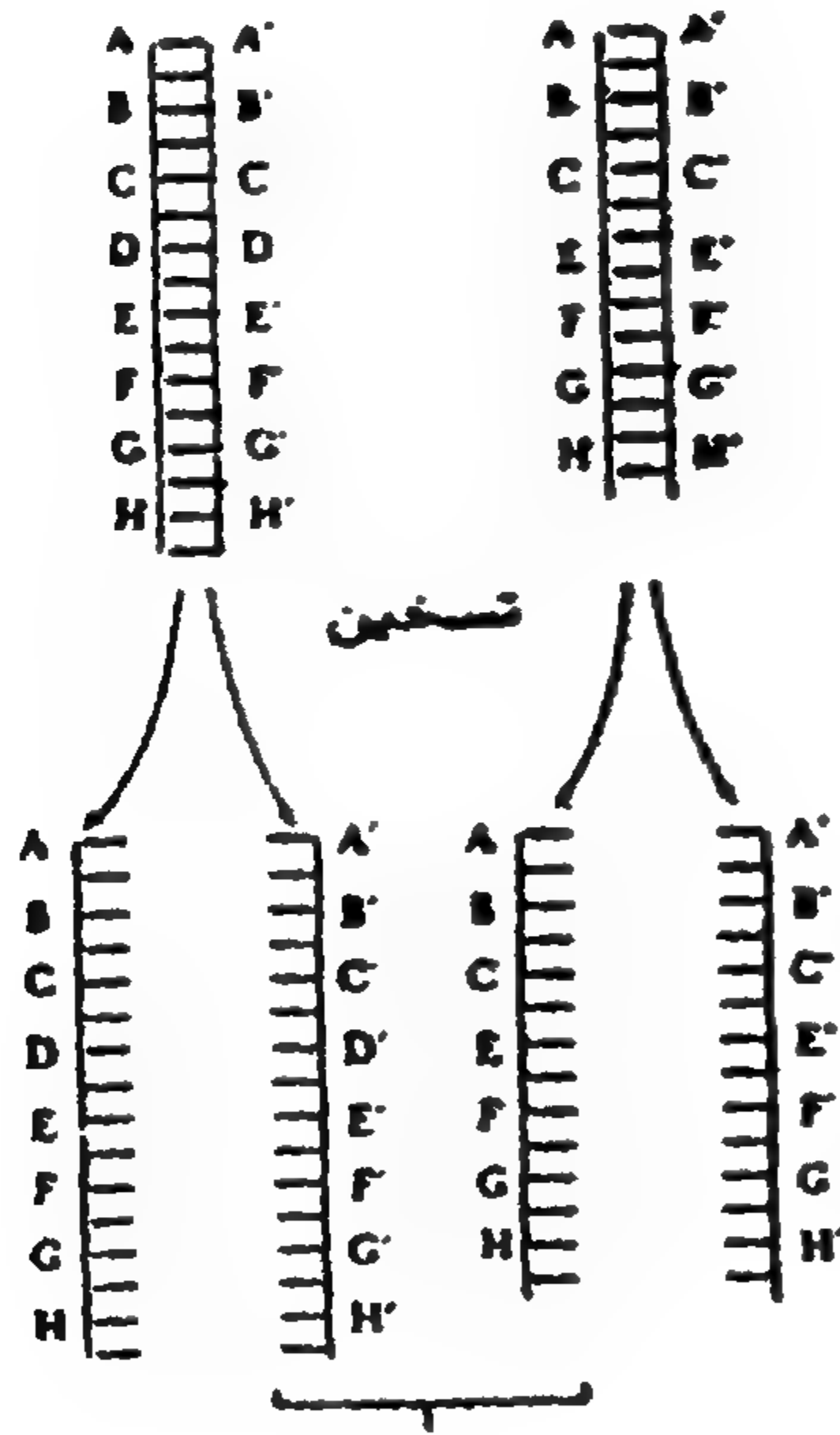
تهجين الأحماض النووية وتماثلها :

Nucleic acid hybridization and homologies

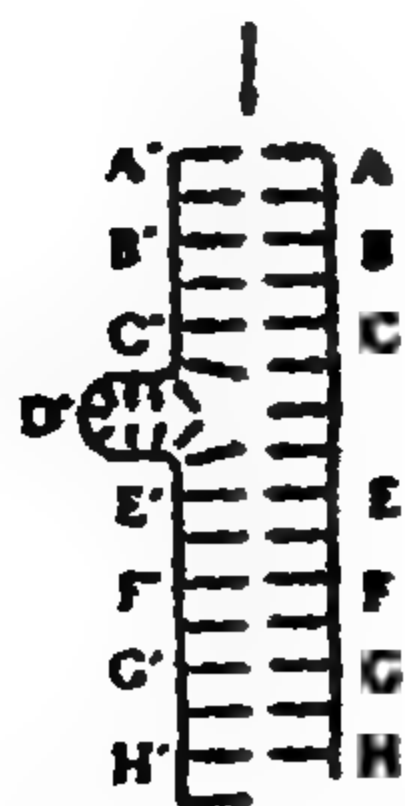
وهى طريقة يستدل بها على مدى تماثل ترتيب القواعد النيتروجينية على الحمض النووى دن أ المستخلص من نوعين من الأحياء الدقيقة . عند تسخين محلول من دن أ مزدوج السلسلة فان الروابط الهيدروجينية بين أزواج القواعد تنكسر عندما تصل درجة الحرارة الى حد معين فتتفصل كلا السلسلتين عن بعضهما . وتسمى درجة الحرارة التى تنفصل عندها السلسلتان بدرجة الانصهار Melting point . وكلما زادت نسبة الآدينين - ثيمين كلما انخفضت درجة الانصهار وذلك لوجود رابطتين هيدروجينيتين فقط بينهما ، وبالعكس فانه كلما زادت نسبة الجوانين - سيتوزين فى دن أ كلما ارتفعت درجة الانصهار وذلك لوجود ثلاث روابط هيدروجينية بينهما . وتستخدم هذه الخاصية (نقطة الانصهار) لحساب نسبة (ح + س) فى الأحماض النووية دن أ الناتجة من الأحياء الدقيقة المختلفة .

وعند تبريد محلول دن أ الذى انفصلت السلسلتان فيه تبريدا بطيئا فانهما (السلسلتان) يعاودا الارتباط لتكوين جزئى دن أ - الأصى المزدوج السلسلة (شكل ١١-٣) وذلك لأن السلسلتين مكملتان لبعضهما ، وهذا مطلب أساسى لاعادة تكوين الجزئى مزدوج السلسلة (أن تكون السلسلتان مكملتين لبعضهما تماما أو على درجة كبيرة من التكامل) .

وحيث أن تكوين الجزيء المزدوج من دنا مأخوذ من كائنين مختلفين يتطلب ترتيباً متماثلاً للقواعد النيتروجينية في الـ دنا المستخلص من كلا من هذين الكائنين . فإن تكوين الجزيء المزدوج من دنا مسن خلط دنا من مصدرين من نوعين من الأحياء الدقيقة يدل على تماثلهما Homologous DNA وتسمى هذه الدراسات باسم " تهجين دنا - دنا DNA-DNA Hybridization . وقد توجد درجة بسيطة من عدم التماثل فيتكون جزيء مزدوج غير متجانس Hetroduplex شكل (١١-٤) . وإذا لم توجد أي درجة من التماثل في ترتيب القواعد النيتروجينية في جزيئات دنا المتحصل عليه من نوعين من الأحياء الدقيقة فإنه لا يتكون جزيئات مزدوجة السلسلة ، وذلك يكون دليلاً قاطعاً على أن قرابتهما Relatedness منخفضة أو معدومة .



شكل (١١-٤) : تكوين السلاسل المزدوجة غير المتجانسة بين تحضيرين مختلفين من دنا . أحد التحضيرين به جزء محذوف وهو ذلك الجزء الذي يقابل الجزء البارز D من السلسلة المقابلة



جزيء دنا غير متجانس

وحيث أن الحمض النووي رنأ يكون مكملًا لأحدى السلسلتين من الحمض النووي دنأ فان دراسة مماثلة تجرى لصهر الحمض النووي دنأ ثم خلطه بحامض نووي رنأ ثم التبريد البطيء والبحث عن تكوين جزيئات مزدوجة . وتسمى الدراسة في هذه الحالة " تهجين دنأ-رنأ DNA-RNA Hybridization".

تعتبر دراسات التهجين هذه وسيلة ممتازة للحكم على درجة قرابة وعدم قرابة أنواع معينة من الأحياء الدقيقة لبعضها . وقد استخدمت كثيرا في تقسيم الأحياء الدقيقة بنوعيتها (ذات النواه البدائية وذات النواه الحقيقية) .

ويمكن اجراء دراسات التهجين هذه بجعل واحد من الحمضين النوويين المستخدم في الدراسة ميزا بجعله مشع Radioactive وذلك بتنمية الكائن الحي نفسه على مادة مشعة ، ثم تكسير الحامض النووي المشع الى قطع صغيرة بضربه في خلاط قبل صهره .

أما التحضير الآخر من الحمض النووي المطلوب دراسة درجة تماثله فيصهر فقط ثم يخلط التحضيران المنصهران ثم يبردا ببطء وتقاس درجة تكون الجزيئات المزدوجة المشعة .

ويمكن قياس درجة القرابة Relatedness بالبحث على الجزيئات المزدوجة السلسلة غير المتجانسة Hetroduplex بالمجهر الإلكتروني . وأحيانا يؤخذ وجود تكوين الجزيئات المزدوجة السلسلة غير المتجانسة كدليل على حذف أو اقتطاع deletion جزء من المادة الوراثية للخلية .

ولا مكان حدوث اتصال البلازميدات أو بعض الفيروسات مع كروموسوم الخلايا البكتيرية لابد لحدوث هذا الاتصال من وجود ترتيبات مماثلة Homologous sequences من القواعد النيتروجينية التي تتصل ببعضها على كلا المادتين الوراثيتين أيضا .

نمو الغشاء الخلوى ونمو الجدار الخلوى :

أثناء دورة نمو الخلية وانقسامها تنمو الطبقات السطحية للخلية باستمرار لتقابل الزيادة فى حجم الخلية ، فيتمدد الغشاء الخلوى والجدار الخلوى .

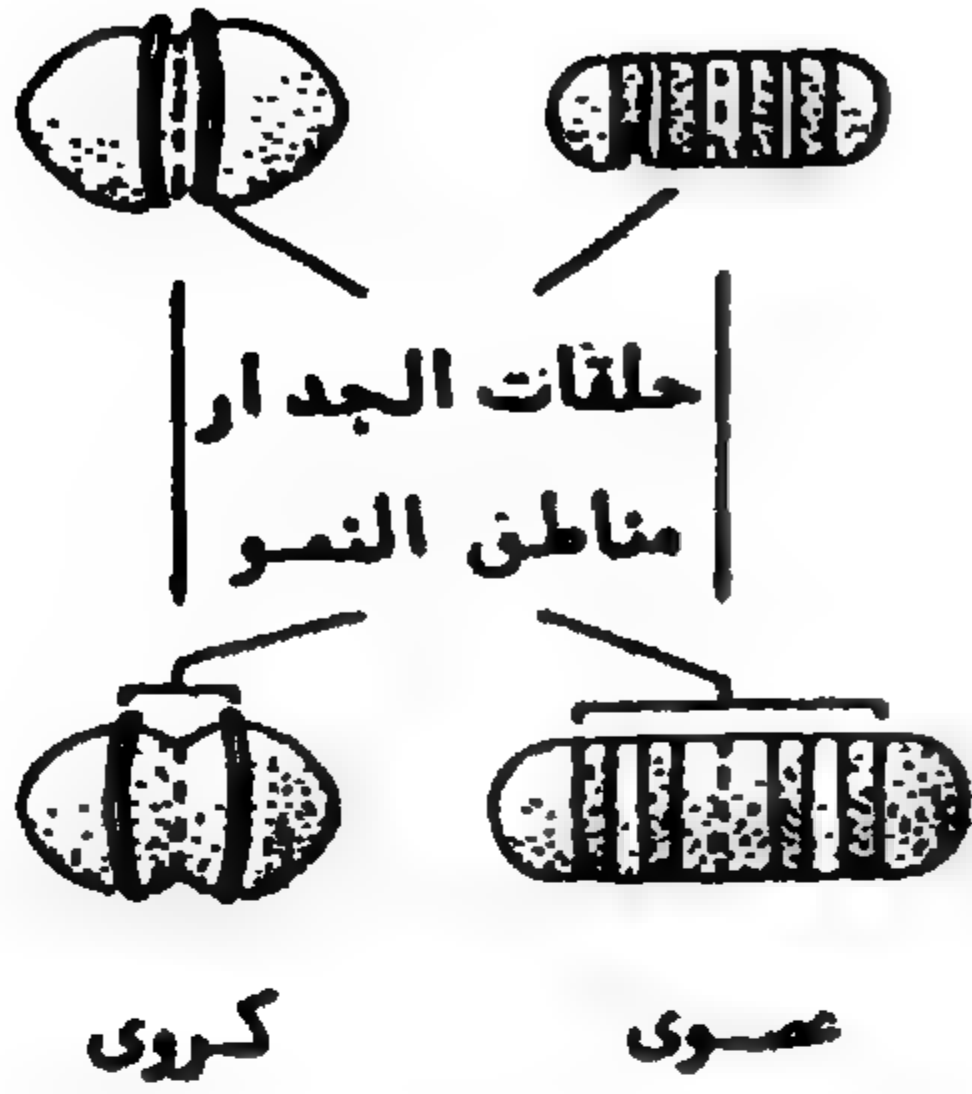
مع بدء استعداد الخلية للانقسام تحدث تغيرات فى مواقع بنى الجدار الخلوى ، كما أن الفاصل الغشائى العرضى يبدأ فى النمو من الخارج وفى اتجاه الداخل وعلى زاوية مضبوطة الى أن يتكون فاصل كامل يفصل البروتوبلاستين الأختين ثم يزدوج الفاصل الغشائى العرضى مكونا طبقة الغشاء الخلوى الطرفية لكلا الخليتين الأختين .

والخطوة الأخيرة تكون مصحوبة ببناء طبقتى الجدار الخلوى . ويتم بناء هذه المكونات بواسطة انزيمات موجودة فى الغشاء الخلوى ، كما تدل على ذلك دراسات تجزئ الخلية Fractionation studies وغير معروف ما اذا كانت هذه الانزيمات تتركز فى أماكن محددة من الغشاء الخلوى أو أنها تتوزع بانتظام على سطح الغشاء الخلوى .

وقد تحدث الزيادة فى الغشاء والجدار الخلويين من خلال ادخال اضافات من مواد البناء المختلفة عند نقط نمو مخصصة للاضافات أو أن — تحدث الزيادة بصورة اسطوانية عند نقاط عديدة فى الغشاء والجدار الخلويين الموجودين فعلا ، وقد أجريت العديد من التجارب للاجابة على هذا السؤال ، ولكن النتائج المتحصل عليها كانت مختلفة اختلافًا كبيرًا وخاصة بالنسبة لترسيب الجدار الخلوى فى البكتيريا السالبة لصبغة جرام . ويبدو أن الجدار الخلوى فيها يتمدد عند نقاط عديدة على طول الجدار الخلوى . (شكل ١١-٥) .

أما البكتيريا الكروية الموجبة لصبغة جرام ستربتوكوكاي Streptococci فإنه يحدث فتح فى الجدار عند خط منتصف الكرة البكتيرية وترسب فيه مواد الجدار الخلوى الجديدة . ولذلك فإن الخلايا غير النامية أو التى تتعرض للمضادات الحيوية المشبطة لتكوين الجدار الخلوى

شكل ١١-٥ : مكان بناء الجدار الخلوي الجديد أثناء انقسام الخلية في البكتيريا الكروية يتكون الجدار الخلوي الجديد عند نقطة واحدة في الجدار القديم بينما في البكتيريا العصوية يتم بناء الجدار الخلوي الجديد عند عدة نقاط من الجدار القديم .

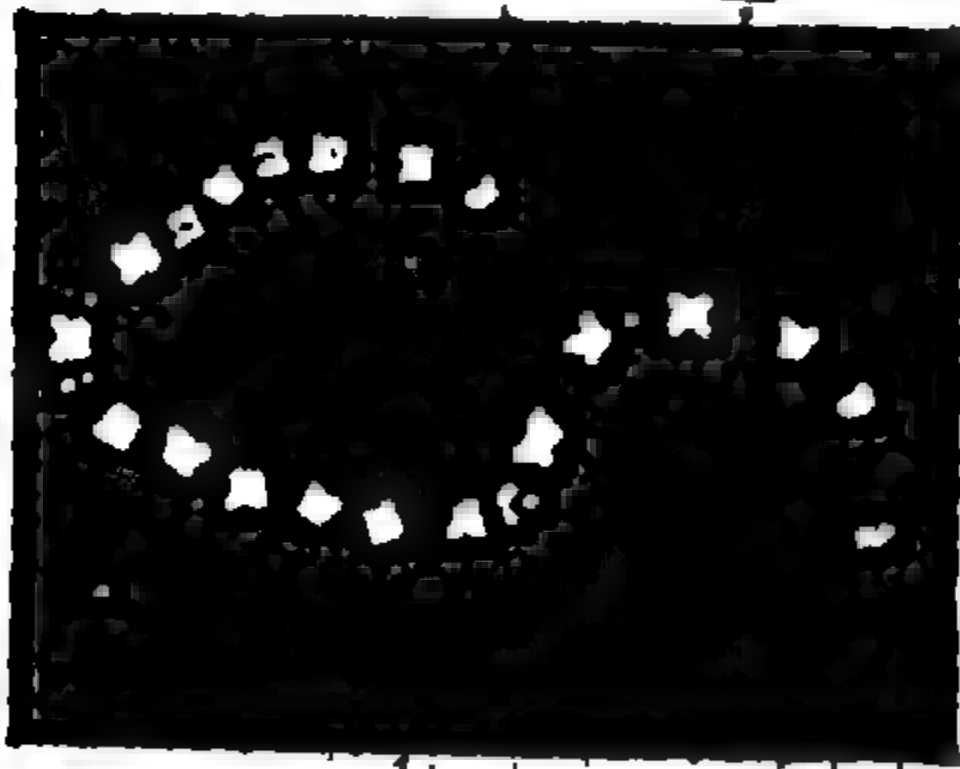
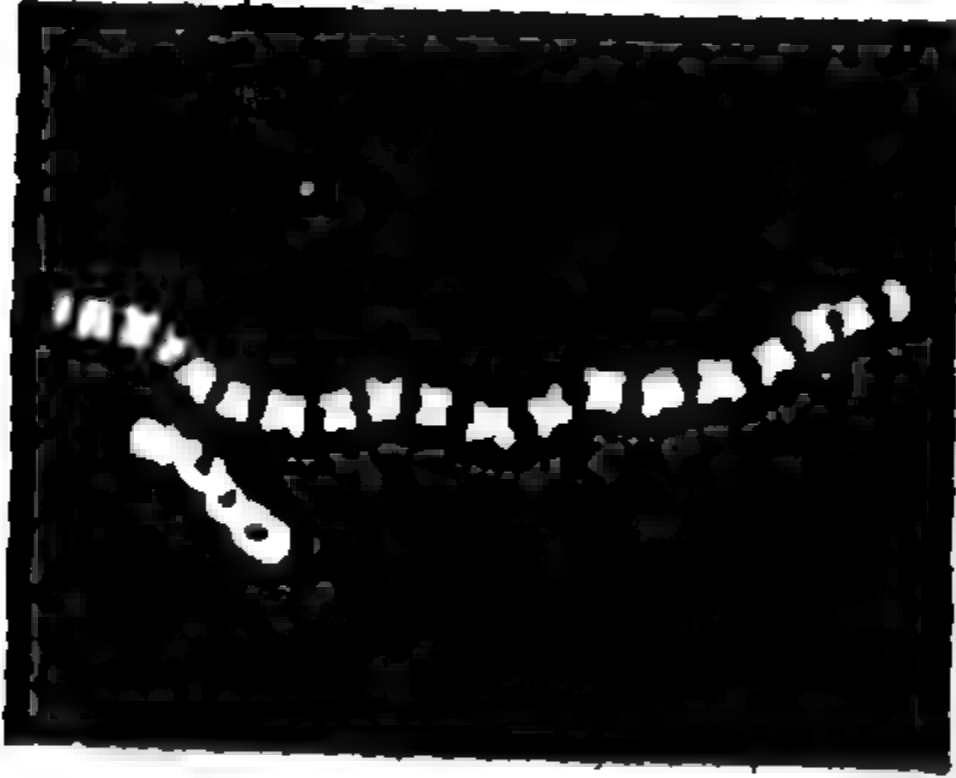
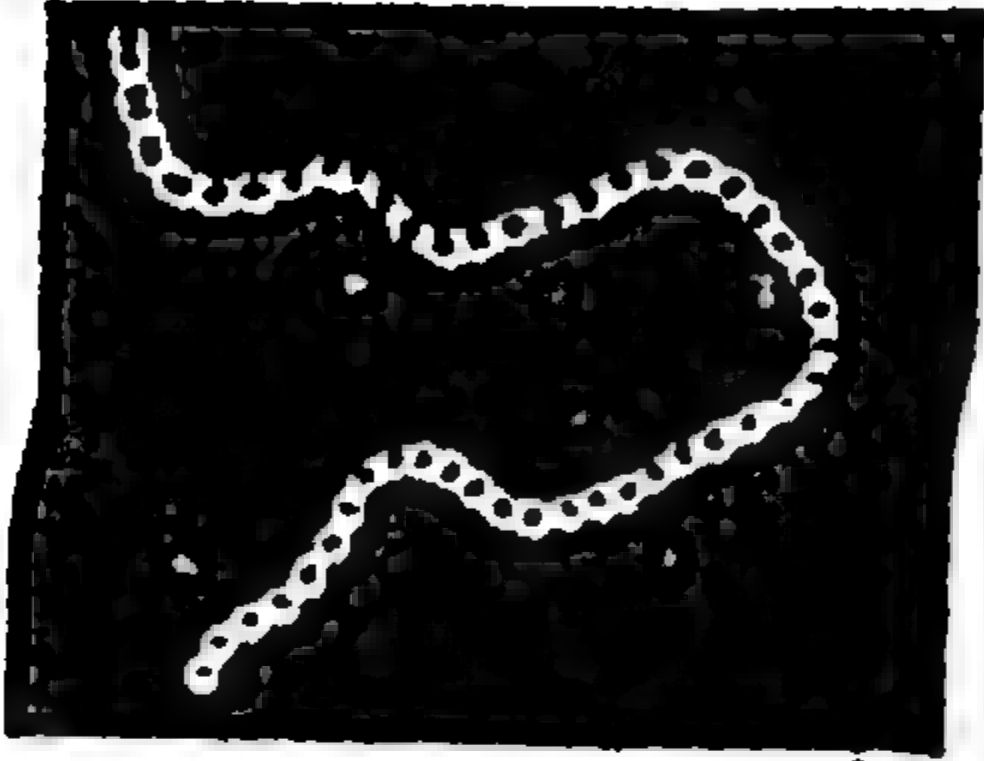


مثل البنسلين Penicillin أو السيكلوسيرين Cycloserine قد تتعرض للانفجار أو التحلل الذاتي Autolysis نتيجة حدوث هذه الفتحات في الجدار الخلوي دون ترسيب لمواد الجدار الخلوي فيها .

وقد أمكن الاستدلال على ذلك باستعمال أجسام مضادة Antisera متخصصة لمكونات الجدار الخلوي — مع صبغ هذه الأجسام المضادة بصبغة فلورسنتية . وعند استخدام هذه الأجسام المضادة المصبوغة مع البكتيريا الكروية ستربتوكوكاي Streptococci فان ذلك يجعل الخلايا تشع ضوء فلورسنتيا كثيفاً على جميع سطح الخلية (شكل ١١-٦ أ) فإذا سمح للخلايا بالنمو في غياب الأجسام المضادة الفلورسنتية بعد ذلك اتضح تكوين مناطق وسطية في الخلايا بدون الأجسام المضادة بينما تبقى أقطاب الخلية مشعة للضوء الفلورسنتي (شكل ١١-٦ ب) . وباستمرار النمو يستمر ابتعاد الأقطاب الخلوية المشعة للضوء الفلورسنتي (شكل ١١-٦ ج ، د) . كما أنه لوحظ أن تجويع بكتيريا ستربتوكوكاي Streptococci لبعض الأحماض الأمينية أو معاملة الخلايا بأحد المضادات الحيوية التي تثبط بناء البروتين مثل الكلورامفينيكول مع استمرار تكوين الجدار الخلوي فان ذلك يؤدي الى زيادة مستمرة في سمك الجدار الخلوي (شكل ١١-٧) .

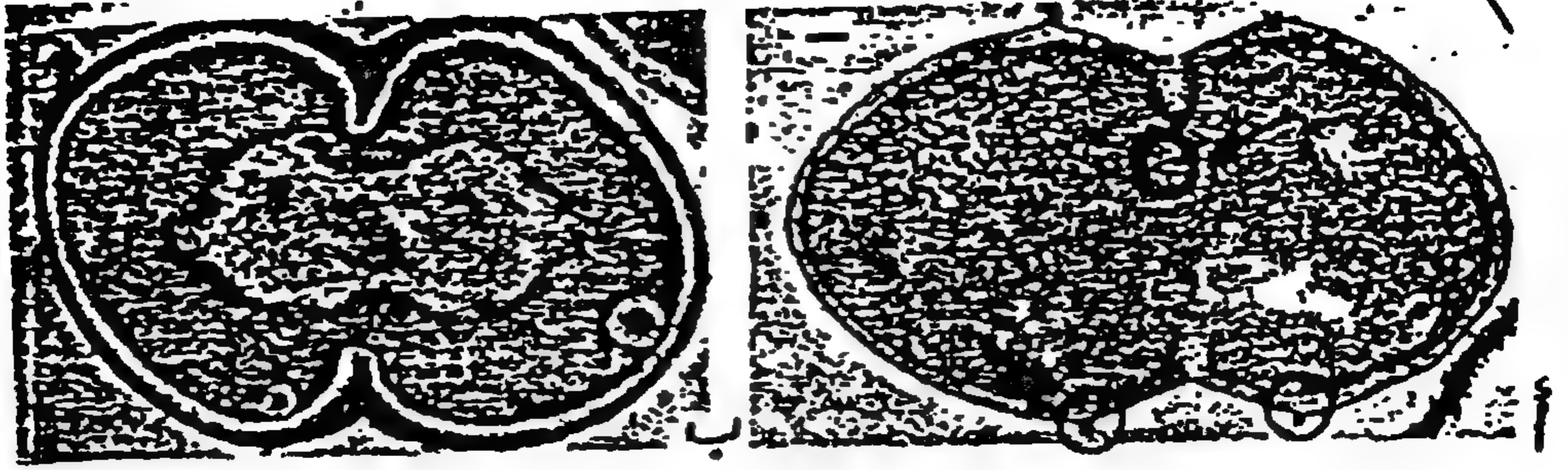
أما تمدد الغشاء الخلوي فهو عادة يحدث قرب منطقة الانقسام

والشكل (١١-٨) يوضح توزيع الغشاء الخلوى فى الخلية الأم (المنطقة المظللة بين الخليتين الأختين الناتجتين) ثم استمرار الانقسام فى جيل تال لذلك الجيل .



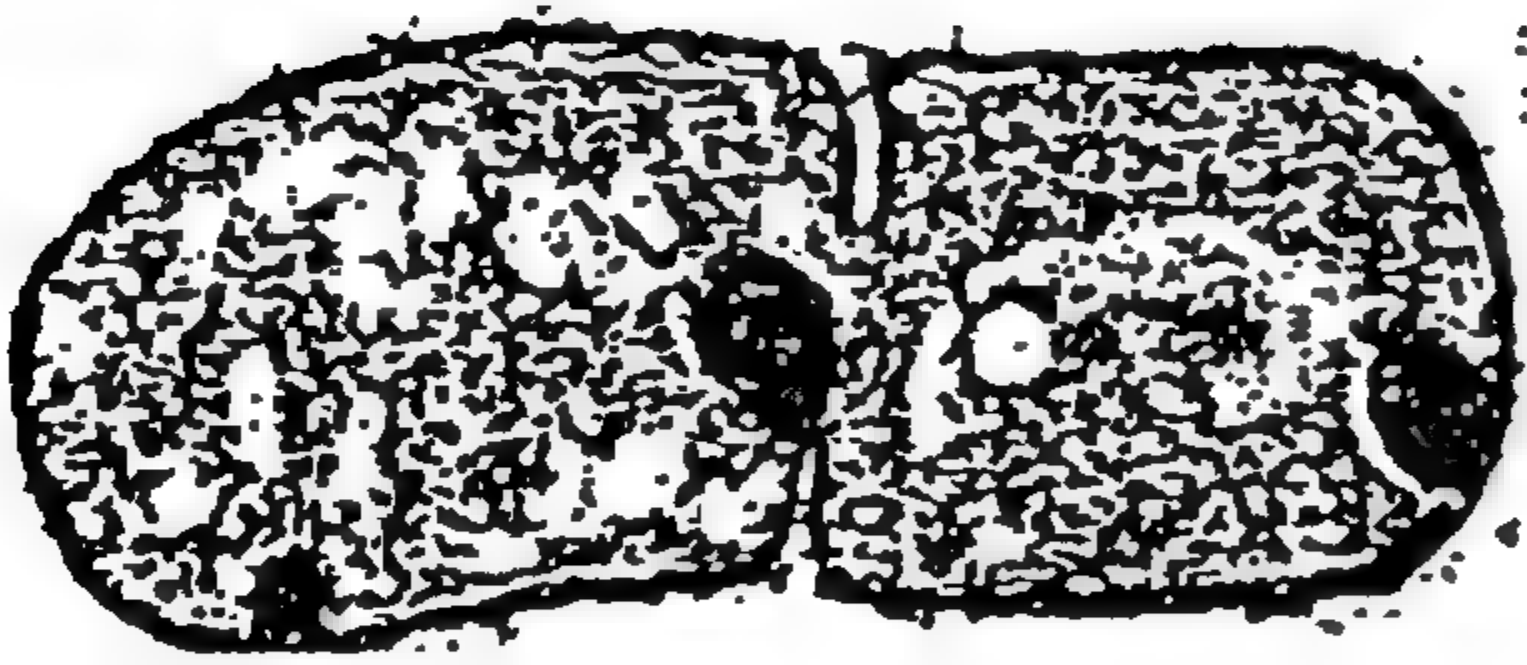
شكل ١١-٦ : نمو الجدار الخلوى
لبكتيريا Streptococcus pyogenes
متبوعا بالتصوير بمجهر الاشعة فوق البنفسجية لسلسلة من الخلايا مصبغة أوليا بمادة مشعة ضوئيا .

أ- بعد الصبغ مباشرة حيث تبدو الخلايا كلها مصبغة .
ب- بعد ١٥ دقيقة من الصبغ حيث تكونت جدر جديدة غير مصبغة فى منطقة خط استواء الخلية .
وتبدو نهايتى الخلايا مصبغة .
ج- د التصوير بعد ٣٠ ، ٦٠ ، ١٠٠ دقيقة حيث استطالت السلسلة وتكونت خلايا جديدة غير مصبغة



شكل ١١-٧ : صور بالمجهر الالكتروني للبكتيريا Streptococcus faecalis لا يوضح طريقة نمو الجدار الخلوي :

- أ - قطاع طول في خلية منقسمة . وتوضح الدائرة مكان انفصال الجدار القديم عن الجدار الجديد . ويوضح السهم مكان وجود الميسوم .
ب - قطاع طولي في خلية تنقسم جوعت للحض الأيمن ثريونين فتوقف بنسبة البروتين بينما لم يتوقف بناء الجدار الخلوي - لاحظ الجدار الخلوي السببك مقارنة بذلك الموجود في أ



شكل ١١-٨ : صورة بالمجهر الالكتروني لبكتيريا باسيلس ميجاتيريم تحتوي على ٣ ميسوسومات أحدها بالقرب من الغشاء الخلوي جديد التكوين بين الخليتين ...

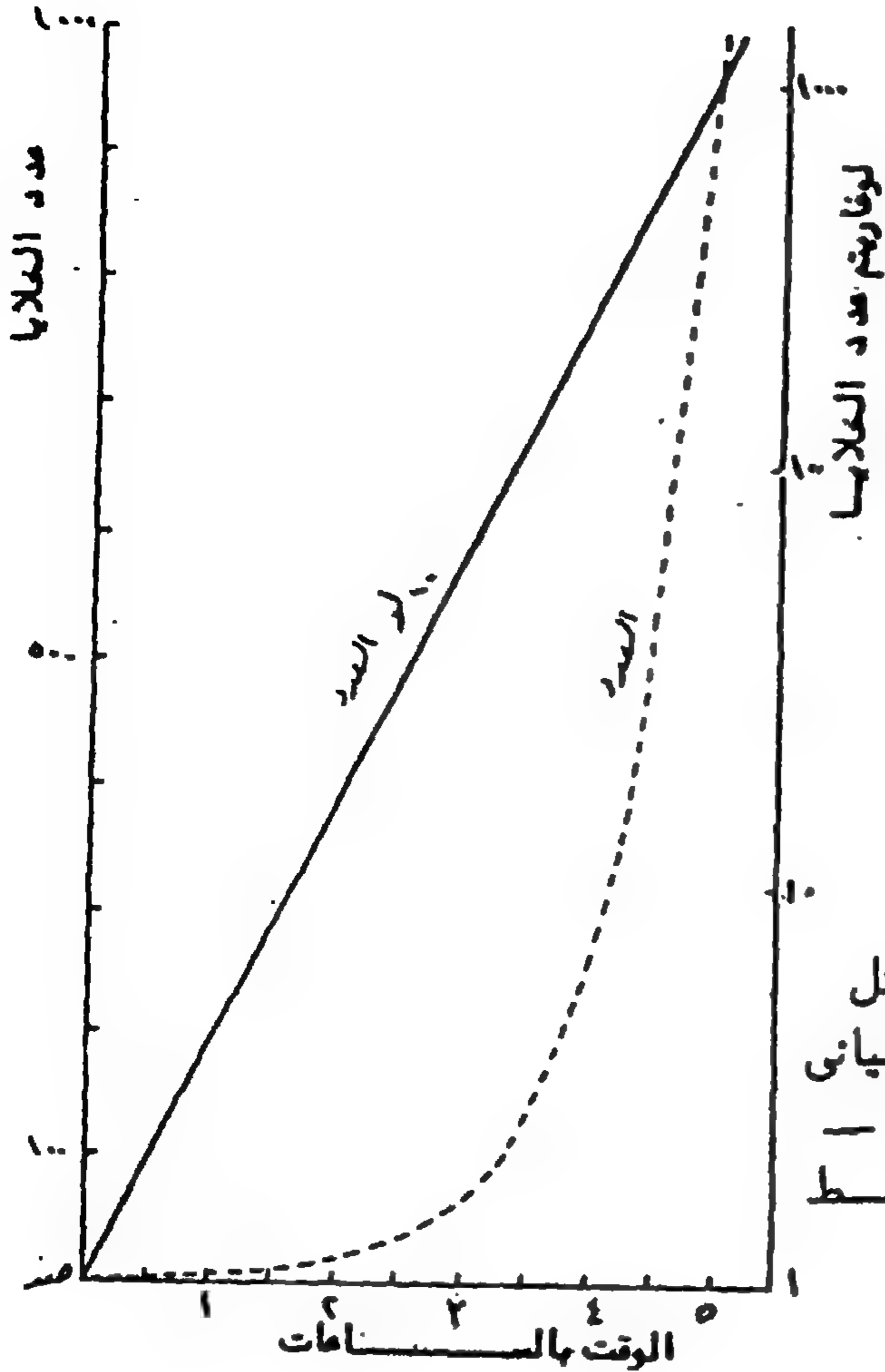
ثانياً : نمو المجتمعات

ان النمو المتزن للمجتمعات يحدث غالباً عندما يكون النمو لوغاريتمياً Exponential ، والنمو اللوغاريتمى يحدث كنتيجة لما يحدث من انقسام خلية الى خليتين ، والخليتين الى أربع خلايا والأربع خلايا الى ثمان خلايا وهكذا ... فكلما انقضت فترة انقسام (الوقت الجيلي Generation time) فان تعداد المجتمع يتضاعف (جدول ١١-٤) فاذا وقعنا

جدول ١١-٤ : النمو اللوغاريتمى لمجتمع من خلايا نتجت عن خلية واحدة
ذو وقت جيلى (تتضاعف كل) ٣٠ دقيقة .

الوقت بالساعات	عدد الخلايا	١. الو (عدد الخلايا)
صفر	١	صفر
٥ر	٢	٣٠١ر
١٠ر	٤	٦٠٢ر
١٥ر	٨	٩٠٣ر
٢٠ر	١٦	١٢٠٤ر
٢٥ر	٣٢	١٥٠٥ر
٣٠ر	٦٤	١٨٠٦ر
٣٥ر	١٢٨	٢١٠٧ر
٤٠ر	٢٥٦	٢٤٠٨ر
٤٥ر	٥١٢	٢٧٠٩ر
٥٠ر	١٠٢٤	٣٠١٠ر
—	.	.
—	.	.
—	.	.
١٠	١٠٤٨٥٧٦ر	٦٠٢١ر

عدد الخلايا لمجتمع ما من الخلايا أثناء نموها مع الزمن على ورق رسم بيانى عادى فاننا نحصل على منحنى تحدث به الزيادة فى العدد بطريقة متزايدة . ولكن اذا وقعنا هذه الأعداد بالنسبة للزمن على ورق بيانى شبه لوغاريتمى نحصل على خط مستقيم (شكل ١١-٩) ويسمى نمو المجتمع فى هذه الحالة نموا لوغاريتميا Exponential growth وهذا النوع



شكل ١١-٩ : معدل النمو الممثل
في الجدول ١١-٤ : على ورق بياني
عادي (خط متقطع) وعلى ورق —
بياني شبه لوفاريتم (خط
مستمر) ...

من النمو يميز نمو الكائنات الدقيقة وحيدة الخلية Unicellular ، ويعرف
الوقت الجيل $Generation\ time$ أو وقت تضاعف العدد $Doubling\ time$
بأنه الوقت اللازم لمضاعفة عدد الأحياء الدقيقة ، وبالتالي فإنه يمكن
التعبير عن معدل النمو إما بأنه عدد أوقات تضاعف العدد البكتيري في
الساعة الواحدة أو الزمن اللازم لتضاعف العدد البكتيري بالنسبة للمشال
الموجود في جدول (١١-٤) فإن وقت تضاعف العدد هو ٣٠ دقيقة
، ويمكن التعبير عنه أيضاً بمرات تضاعف العدد / في الساعة ($2\ Doubling$
 $times/hr$) أو أن الساعة بها وقت جيلين $2\ Generation/hr$.

ويمكن قياس الوقت الجيلي مباشرة من الشكل (١١-١٠) بتقدير الوقت اللازم لتضاعف العدد ، كما يمكن حساب الوقت الجيلي من المعادلة بمعرفة عدد الخلايا عند وقتين متتاليين :

$$K = \frac{\log_{10} X_t - \log_{10} X_0}{0.301}$$

ثابت معدل النمو معبرا عنه بعدد أوقات التضاعف في وحدة الزمن = K

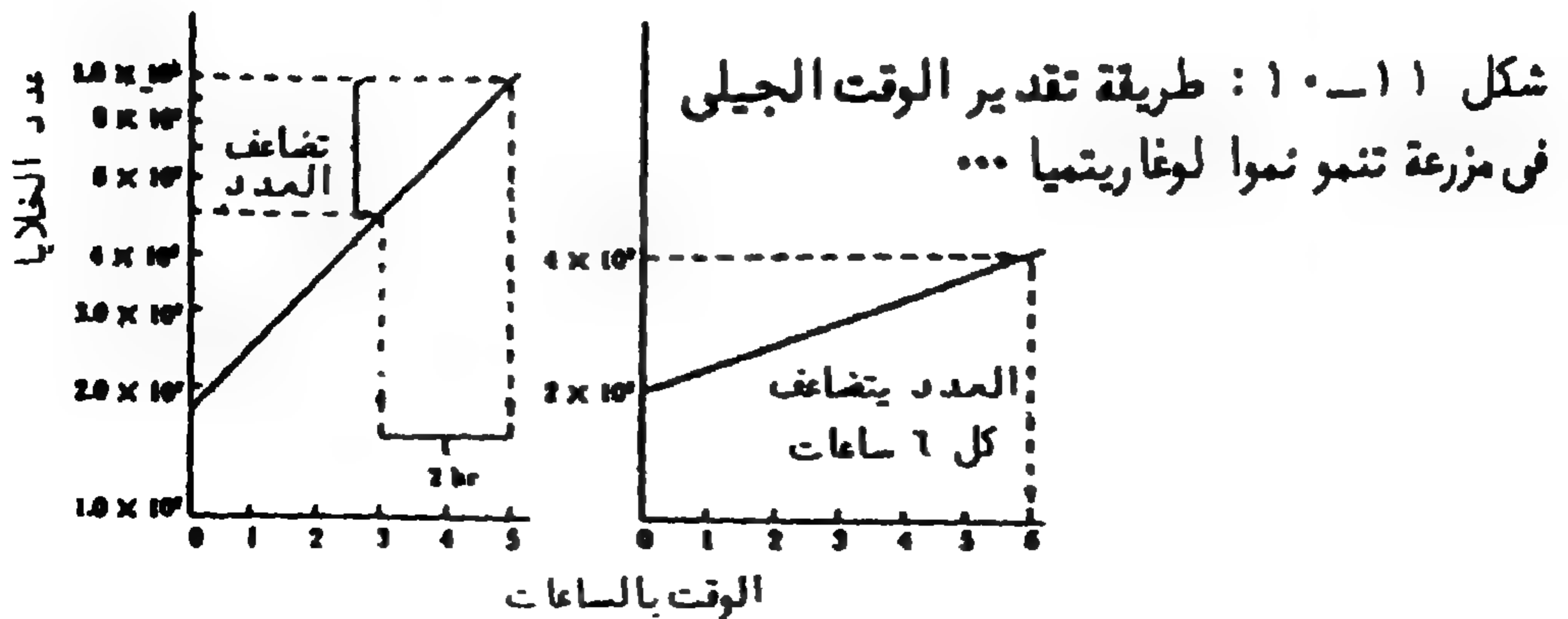
X_t = عدد الخلايا عند الوقت اللاحق

X_0 = عدد الخلايا عند الوقت السابق

الوقت الذي ينقضى حتى يرتفع عدد الخلايا من X_0 الى X_t = t
الوقت الذي ينقضى لكي يتضاعف عدد الخلايا (الوقت الجيلي) = $\frac{1}{K}$

وأحد أهم خواص النمو اللوغاريتمى هى أن الزيادة في عدد الخلايا تكون صغيرة في البداية وتزداد باستمرار لتكون كبيرة جدا في المراحل التالية . ولذلك أهمية صناعية كبيرة ، فمثلا يمكن ترك اللبن غير المعقم في المراحل الأولى من النمو اللوغاريتمى لعدة ساعات دون تأثير ملحوظ ، أما في المراحل النهائية من النمو اللوغاريتمى فان ساعة واحدة قد تسبب تلف اللبن . وكذلك الحال بالنسبة لكثير من التخمرات الصناعية .

وعند التعامل مع المجتمعات الميكروبية فاننا عادة نتعامل مع أعداد كبيرة بما يصعب كتابة عدد الأصفار . ولتبسيط ذلك فان العاملين



في مجال الأحياء الدقيقة يكتبون الأرقام الأسية للأساس ١٠. وعلى سبيل المثال فإن 10^7 تساوي ١٠٠٠٠٠٠ ويمكن الإشارة الى أن مزرعة تحتوى 2.5×10^8 وهذا يعنى ٢٥٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠ وعند اجراء عمليات الجمع لتلك الأعداد الكبيرة لابد من توحيد الأس في الأرقام التي تجمع وعلى سبيل المثال :

$$10^7 \times 2.5 = 25,000,000 = 2.5 \times 10^7$$

$$10^7 \times 3 = 3,000,000 = 3 \times 10^7$$

$$10^7 \times 28 = 28,000,000 = 2.8 \times 10^7$$

ومن الأفضل دائما عند عمل منحنيات نمو البكتيريا استعمال ورق الرسم البياني اللوغاريتمى ذو الخمس مراحل Five cycles وهذا يسمح بعمل منحنى يمثل زيادة الأعداد 10^5 (١٠٠٠٠٠) مرة.

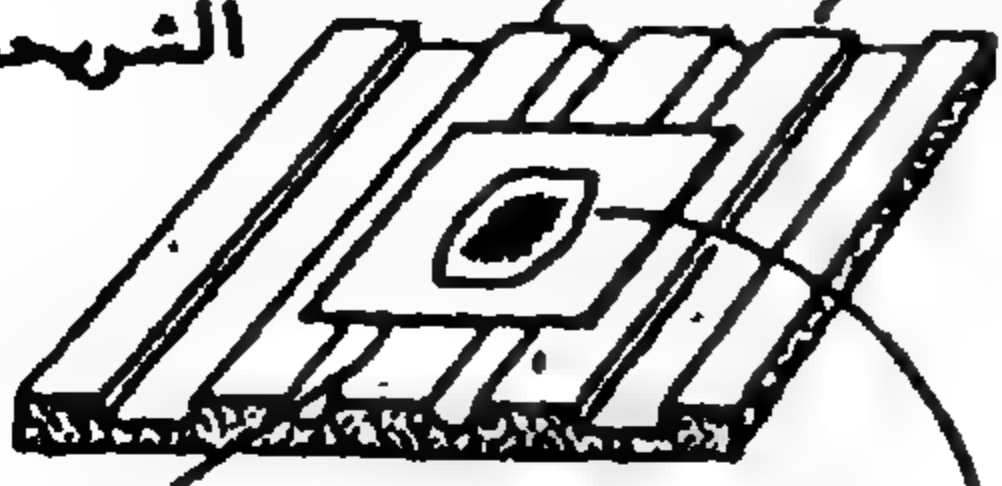
طرق قياس النمو للكائنات الدقيقة :

١- العد المجهرى المباشر : Direct microscopic count

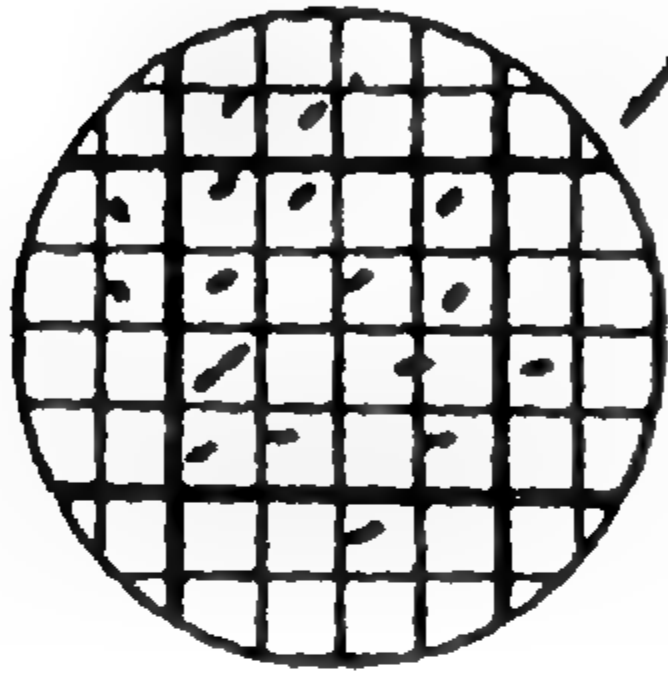
يمكن عد الخلايا البكتيريا في محلول ما بأخذ عينة منه ذات حجم محدود ... وتعد البكتيريا في هذا الحجم بواسطة شريحة مقسمة تقسيما خاصا تحت المجهر. والشريحة المستخدمة للعد البكتيرى المباشر هسى المعروفة باسم شريحة بيتروف هاوزر ... Peteoff-Hausser أو شريحة الهيموسيتوميتر Hemocytometer.

وتحتوى شريحة بيتروف - هاوزر على تجويف خاص ذو حجم محدد يسع ٠.٢ ملليمتر مكعب من العينة . وأرضية هذا التجويف مقسمة الى ٢٥ مربعا كبيرا . ومساحتها ١ ملليمتر مربع . وكل مربع كبير مقسمة الى ١٦ مربع صغير (شكل ١١-١١) .

الحواف التي يحتمل عليها غطاء الشريحة



مساحة ١ سم^٢ سعة ٠.٢ سم^٢
تقسم إلى ٢٥ مربع كبير ،
كل مربع كبير مقسم إلى ١٦
مربع صغير .



شكل ١.١-١.١ : لعد البكتيريا في مزرعة سائلة توضع نقطة صغيرة في غرفة الشريحة بعناية فائقة . وتسع هذه الغرفة ٠.٢ ر - مليمتراً ، ثم يوضع غطاء الشريحة وتفحص تحت المجهر ويجرى عد البكتيريا في عدد من المربعات الكبيرة وليكن ١٢ - خلية كما في الشكل فيكون العدد في $١,٥ = ١٠ \times ٥٠ \times ٢٥ \times ١٢$ مل $١٠ \times$ وتسمى هذه الطريقة للعد بالعد المباشر للبكتيريا باستعمال شريحة بتروف - هاوزر .

فتوضع العينة بعناية في التجويف ثم يوضع غطاء الشريحة بعناية حتى لا تتكون فقاعات هوائية ، وعندما يكون الفراغ بين الشريحة وغطائها مملوءاً دون زيادة ، فانه يحتوى على ٠.٢ ر مليمتراً مكعب من المحلول .

وبفحص الشريحة تحت المجهر يجرى عد البكتيريا في عدة مربعات كبيرة ويؤخذ المتوسط لعدد البكتيريا في المربع الكبير الواحد ، وليكن ١٢ خلية وبضرب ١٢ في عدد المربعات الكبيرة (٢٥) ينتج عدد البكتيريا في المربعات (٣٠٠) الخمس والعشرون ، وهو يساوى عدد البكتيريا في ٠.٢ ر مليمتراً وهو حجم العينة الموضوعة على الشريحة . وبضرب (٣٠٠) في $\frac{١}{٢}$ أو ٥٠ ينتج عدد في مليمتراً مكعب واحد (١٥٠٠٠) .

وحيث أن السنتيمتر المكعب الواحد (سيعتبر مساوياً لمليمتراً واحد) يساوى ١٠٠٠ مليمتراً مكعباً فان ضرب (١٥٠٠) \times ١٠٠٠ أو (١٠) ينتج عدد البكتيريا في المليمتراً الواحد من العينة الأصلية $= ١,٥ \times ١٠ \times ٥٠$ ويمكن تلخيص ذلك في الخطوة التالية :

عدد البكتيريا في العينة = متوسط عدد البكتيريا في المربع الكبير $\times ١٠ \times ٥٠ \times ٢٥$ وهذه الطريقة ولو أنها سريعة الا أنه يعاب عليها ما يلي :

- (١) أنها قليلة الحساسية ، فلا يمكن استخدامها لعد عينات تحتوى على أقل من 10^6 في الملليمتر الواحد . لأنه عند هذا التركيز يمكن رؤية خلية واحدة في كل مجال مجهرى .
- (٢) ان هذه الطريقة لا تميز بين الخلايا الحية والخلايا الميتة ، وبذلك يتم عد جميع الخلايا الحية والميتة .

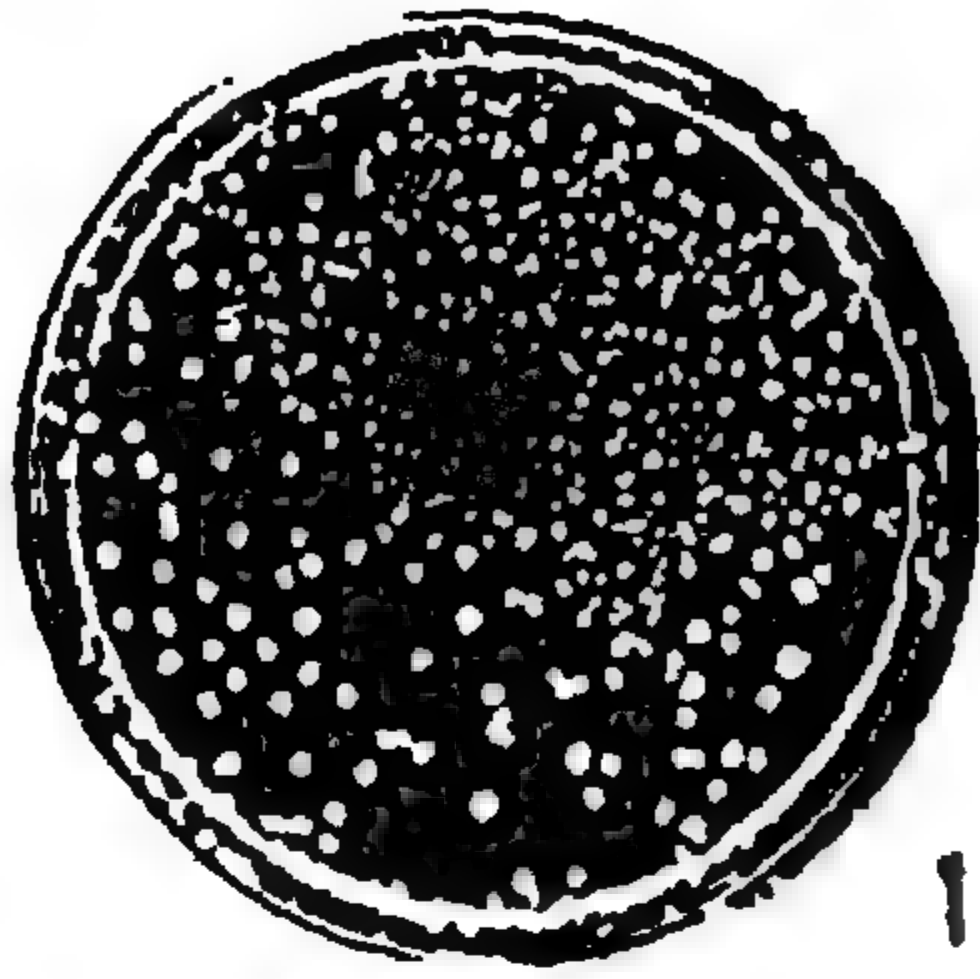
٢- عدد الخلايا الحية : Viable count

في كثير من الحالات يكون المرغوب هو عد الخلايا الحية فقط . والخلية الحية هي تلك الخلية القادرة على الانقسام . وعدد الخلايا الحية تعتمد على هذه الخاصية فيجربى عد الخلايا التى تنقسم مكونة مستعمرات Colonies فى أطباق بتري وتسمى هذه الطريقة طريقة عد الأطباق Plate count وهى أكثر الطرق شيوعا لعد الخلايا الحية ، ويوجد منها طريقتان ... وهما :

- أ - الفرد على الأطباق Spread plate
ب - صب الأطباق Pour plate

* طريقة الفرد على الأطباق : Spread Plate

وفيهما تفرد كمية صغيرة (عادة ١٠٠ ملليمتر) على سطح طبق بتري يحتوى على مستنبت آجار مغذى مناسب ، وتجرى عملية الفرد بواسطة قضيب زجاجى معقم ، ثم تحضن الأطباق على درجة حرارة مناسبة السى أن تظهر المستعمرات للعين ، ويمكن عد المستعمرات على أن كل مستعمرة تمثل خلية واحدة (ولو أن ذلك لا يكون الحال دائما) وبذلك يمكن عد البكتيريا فى العينة الأصلية . شكل (١١-١٢) .

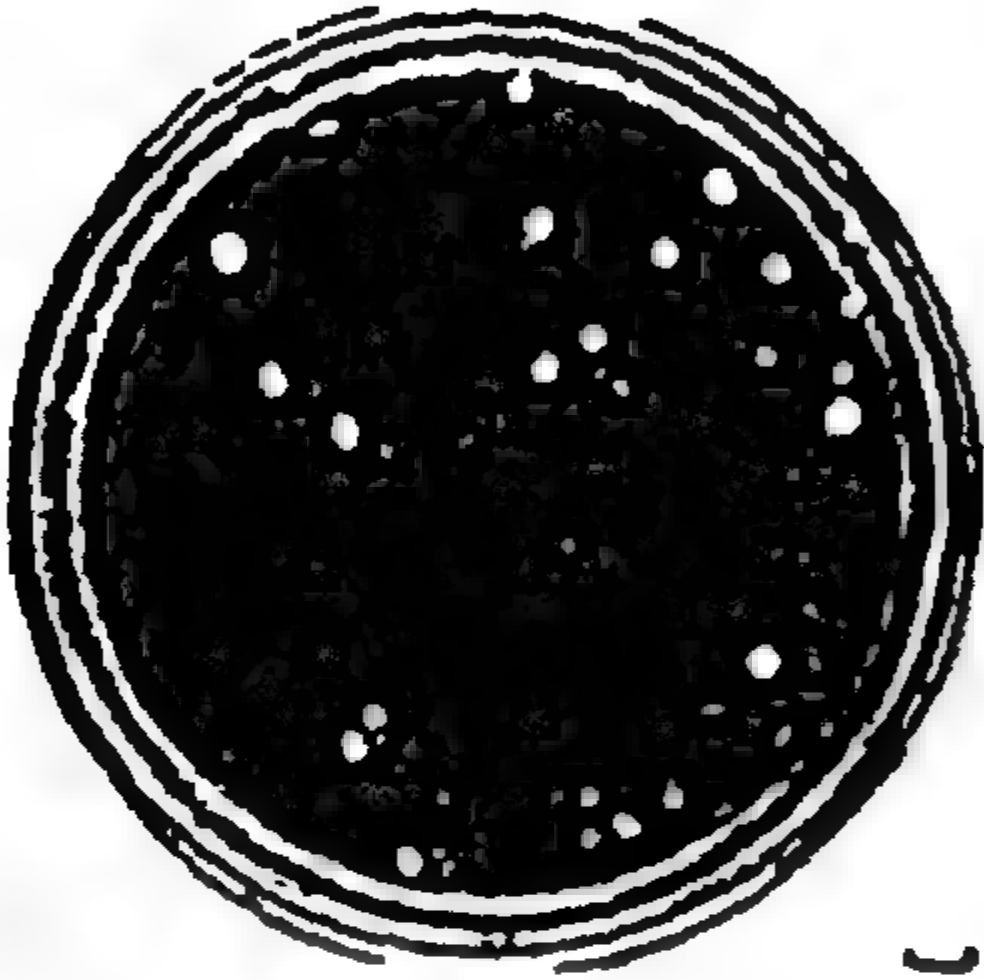


أ

شكل ١١-١٢ : شكل وتوزيع المستعمرات في:

أ- الفرد على الأطباق (الأطباق المفردة) .

ب- الصب على الأطباق (الأطباق المصبوبة) وكلا الطبقين يحتوى على بكتيريا القولون *E. coli*



ب

طريقة صب الأطباق : Pour Plate

وفيها تخلط العينة مع آجار بارد منصهر (لم يتصلب بعد) خلطا جيدا ثم تترك لتتصلب مع الآجار في أطباق بترى معقمة . لذلك تكسبون الكائنات الدقيقة مثبتة في الآجار الصلب وتكون مستعمرات . وفي مثل هذه الطريقة يمكن استخدام حجم أكبر من العينة (١ ملليمتر عادة) . كما يمكن استخدام لعد البكتيريا في سوائل كثيفة مثل تلك الناتجة عن الأغذية المجنسة في الخلاط . ولكن من عيوب هذه الطريقة :

١- أن بعض الأحياء الدقيقة تتأثر بالحرارة العالية للآجار عند صب الأطباق .

٢- أن كثيرا من المستعمرات المتحصل عليها تكون صغيرة جدا نتيجة وجودها منغمورة في الآجار . (شكل ١١-١٢ ب) .

وتعتبر طريقة عد الأطباق Plate count طريقة حساسة على

أساس أن كل خلية تعطى مستعمرة . وعلاوة على ذلك فإن هذه الطريقة تمكن من إجراء درجة ولو محدودة من التعرف على البكتيريا . فالمستعمرات المتكونة تختلف في شكلها وحجمها ولونها وقوامها وارتفاعها وحافتها الخ . ويمكن بهذه الخواص إجراء تعرف محدود على أنواع البكتيريا الموجودة في العينة . كما يمكن استخدام نفس الأطباق لالتقاط مستعمرات منفصلة تمهيدا لتنقيتها . ولذلك يجب أن يكون عدد المستعمرات على الأطباق متوازنا (بين ٣٠-٣٠٠ مستعمرة على الطبق الواحد) حتى لا تزيد نسبة الخطأ في العد أو في التخفيف . لذلك عند عد البكتيريا في معلقات تحتوى على أعداد كبيرة فإن ذلك يتطلب إجراء تخفيفات مناسبة مما قد يكون مصدرا للخطأ .

وتوجد طرق أخرى كثيرة لتقدير عدد الخلايا الحية منها :

طريقة العدد الأكثر احتمالا :

إذا كانت طريقة عد الأطباق بالآجار غير قابلة للاستعمال ففى حالات خاصة فإن طريقة أخرى لعد البكتيريا فى المستنبتات السائلة يمكن استعمالها ، وهى طريقة العدد الأكثر احتمالا (MPN) most probable number حيث تخفف العينة المطلوب عد البكتيريا فيها تخفيفا شديدا فى أنابيب متعددة ، وإذا أجرى التخفيف بطريقة سليمة فإن عددا من الأنابيب سيتسلم خلية واحدة وعددا من الأنابيب لن يصله أى خلايا ، وعند تحضين الأنابيب فإن الأنابيب التى تحتوى خلية سيظهر بها نمو ، أما الأنابيب التى لا تحتوى على خلايا لن يظهر بها نمو ، أما إذا كانت العينة لم تخفف تخفيفا كافيا فإن كل الأنابيب سيظهر بها نمو بعد التحضين . . أما إذا خففت العينة أكثر من اللازم فإن أيا من الأنابيب لن يظهر به نمو . وفى الطريقة العادية تحقق مجموعات من خمسة أنابيب بكميات قدرها ١ مل من تخفيفات متتالية . وبعد التحضين تؤخذ مجموعات الأنابيب التى تمثل تخفيفا معينا ويظهر بها أنابيب موجبة وأنابيب سالبة ، ويمكن بعد ذلك الرجوع الى جدول احصائى (جدول ١١-٥) لمعرفة

العدد الأكثر احتمالاً في العينة . وقد سبق الإشارة الى أساس هذه
الطريقة في الفصل الثالث .

جدول ١١-٥ لقحت كلا من خمسة أنابيب بكميات قدرها ١ مل من ثلاث
تخفيفات متتالية (كلا منها ١ - التخفيف السابق له) بعد التحضين
سجلت الأنابيب التي ظهر بها نمو من كل تخفيف .

والجدول التالي يعطى العدد الأكثر احتمالاً في ١ مل مبسطن
التخفيف الأول . وفي الجدول يوجد مثالين يوضحان طريقة استخدام
الجدول ...

أمثلة	MPN	٢ - ١٠	١ - ١٠	صفر ١٠	MPN	٢ - ١٠	١ - ١٠	صفر ١٠
مثال ١: لقحت خمسة أنابيب بواحد مل من كلا من التخفيفات ١٠ - صفر ، ٢٠ - ١٠ ، ٤٠ - ٢٠ من عينة حليب مبستر . بعد التحضين ظهر النمو في جميع أنابيب مبسطن التخفيف ١٠ - صفر وظهر نمو في ثلاث أنابيب من التخفيف ٢٠ - ١٠ ولم يظهر نمو في أي من أنابيب التخفيف ٤٠ - ٢٠ فيكون العدد الأكثر احتمالاً في ١ مل مبسطن عينة الحليب المبستر (وفي الجدول) = ٧٩	٢٢٣	صفر	صفر	•	١٨	صفر	١	صفر
	٢٢١	١	صفر	•	٢٠	صفر	صفر	١
	٢٢٣	صفر	١	•	٤٠	صفر	١	١
	٤٢١	١	١	•	٤٠	صفر	صفر	٢
	٤٢٩	صفر	٢	•	٦٨	١	صفر	٢
	٧٠	١	٢	•	٦٨	صفر	١	٢
	٩٥	٢	٢	•	٩٣	صفر	٢	٢
	٧٩	صفر	٣	•	٧٨	صفر	صفر	٣
	١١٠	١	٣	•	١١	١	صفر	٣
	١٤٠	٢	٣	•	١١	صفر	١	٣
مثال ٢: لقحت خمسة أنابيب بواحد مل من كل من التخفيفات ١٠ - ٢٠ ، ٢٠ - ٤٠ ، ٤٠ - ٨٠ من عينات الحليب الخام ، وبعد التحضين . ظهر نمو في أنابيب من التخفيف ١٠ - ٢٠ وظهر نمو في أنابيب من التخفيف ٢٠ - ٤٠ وظهر نمو في أنابيب واحدة فقط من التخفيف ٤٠ - ٨٠ وبذلك يكون العدد الأكثر احتمالاً في عينة الحليب = ٢٦ × ١٠ (وفي الجدول) ...	١٢٠	صفر	٤	•	١٤	صفر	٢	٣
	١٧٠	١	٤	•	١٣	صفر	صفر	٤
	٢٢٠	٢	٤	•	١٧	١	صفر	٤
	٢٨٠	٣	٤	•	١٧	صفر	١	٤
	٢٤٠	صفر	•	•	٢١	١	١	٤
	٢٥٠	١	•	•	٢٢	صفر	٢	٤
	٥٤٠	٢	•	•	٢٦	١	٢	٤
	٩٢٠	٣	•	•	٢٧	صفر	٣	٤
	١٦٠	٤	•	•				

٣- تقدير الكتلة الميكروبية :

فى كثير من الدراسات وخاصة الدراسات الكيمائية الحيوية Biochemical studies يكون المطلوب هو دراسة الكتلة وليس العدد . ويمكن قياس الكتلة بأخذ حجم معين من المستنبت والحصول على الخلايا منه بالطرد المركزى ثم غسيل الخلايا ووزنها رطبة أو تجفيفها ووزنها وتكرار هذه العملية على أوقات متقطعة فنحصل على الوزن الجاف أو الرطب عند أوقات مختلفة أثناء النمو . والوزن الجاف يكون عادة بين ٢٠-٢٥ % من الوزن الرطب للخلايا . وتقدير الكتلة - علاوة على أنه طريقة بطيئة - فإنها غير حساسة فان كل ١ ملليجرام من الوزن الجاف للبكتيريا يمثل حوالى ٥ بليون خلية تقريبا .

ويمكن قياس وزن الخلية الواحدة بوزن عدد كبير من الخلايا ثم قسمة الوزن على العدد . ويتراوح الوزن الجاف للخلية البكتيرية بين ١٠-١٥ الى ١٠-١١ جرام بينما يتراوح وزن الخلية الجافة فى الأحياء الدقيقة ذات النواه الحقيقية بين ١٠-١١ الى ١٠-٧ جرام .

وفى المعلقات الكثيفة للأحياء الدقيقة يمكن قياس درجة تعكير المعلق على فترات زمنية مختلفة للتعرف على معدل النمو . ودرجة التعكير تعبر عن الكتلة أكثر من تعبيرها عن عدد الخلايا .

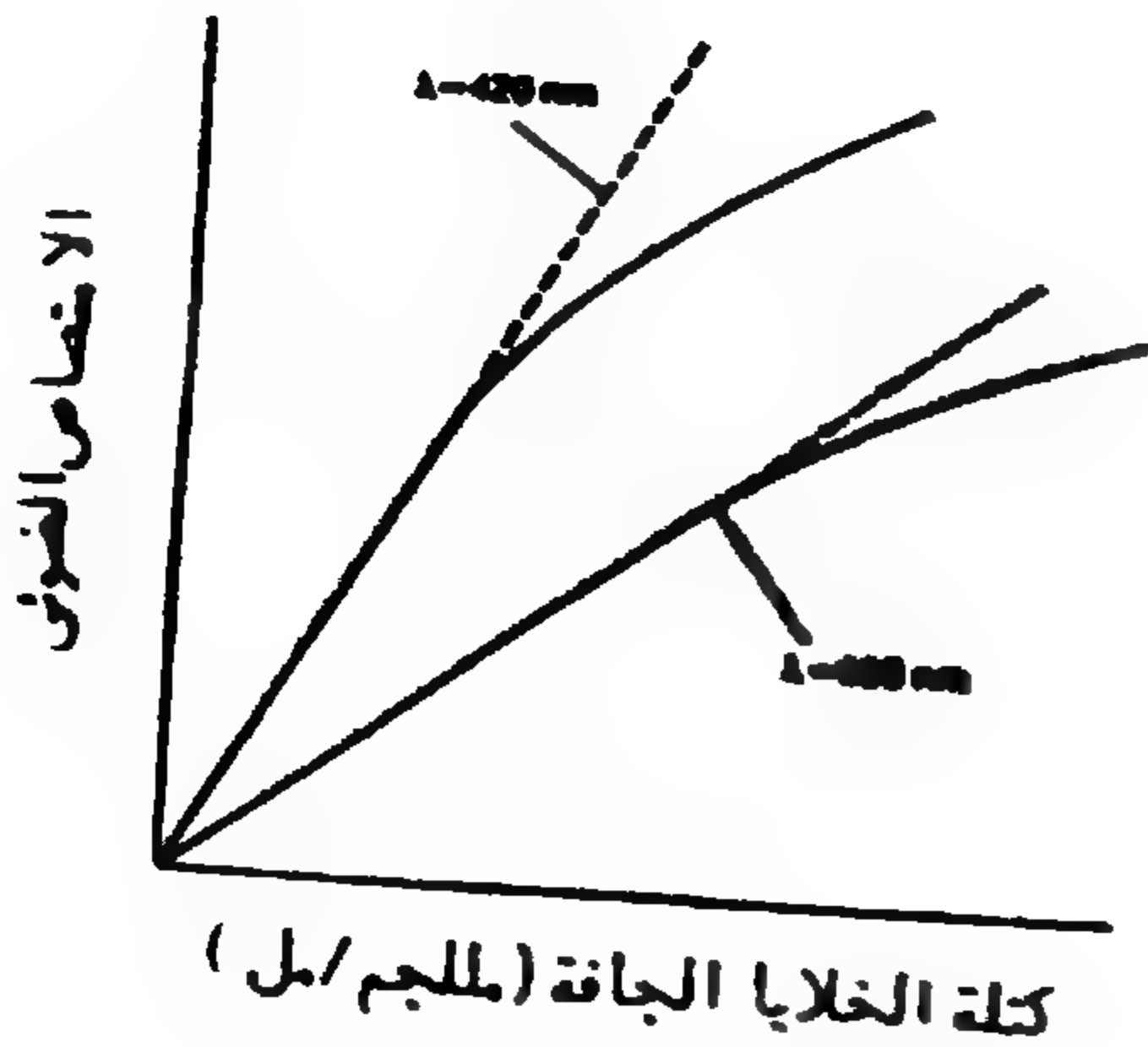
ورغم أن قياس العكارة سهل وسريع ولا يلزم معه قتل المزرعة أو الخلايا إلا أنه ليس حساس ، فالمعلقات البكتيرية التى تحتوى على عدد يقل عن ١٠-٧ خلية / الملليمتر الواحد تكون رائية ولا يظهر بها عكارة واضحة ... لذلك فهذه الطريقة تصلح عندما تزيد الأعداد عن ذلك (١٠-٧ خلية / الملليمتر) . وتعتمد هذه الطريقة على أن الأجسام الصغيرة تشتت الضوء الواقع عليها ، وعند وجود عدد كبير من الأجسام (الخلايا) فى مسار شعاع فان كمية كبيرة من الضوء الساقط على المعلق تشتت نتيجة سقوطه على هذه الأجسام ، ولكن اذا كان عدد الأجسام (الخلايا فى هذه الحالة قليلا) فان كمية الضوء المتشتت تكون صغيرة ، وبذلك فان هناك علاقة طردية بين كثافة المعلق البكتيرى والضوء المتشتت

... والجهاز المستخدم لقياس النمو عن طريق تسليط مسار من الأشعة على معلق بكتيري يسمى الاسبكتروفوتوميتر Spectrophotometer والجهاز مجهز لكي يقرأ درجة امتصاص الضوء (Absorbancy) (A)، وتعرف درجة امتصاص الضوء على أنها لوغاريتم نسبة الضوء الساقط على العينة I_0 على الضوء النافذ I من العينة.

$$A = \log \frac{I_0}{I}$$

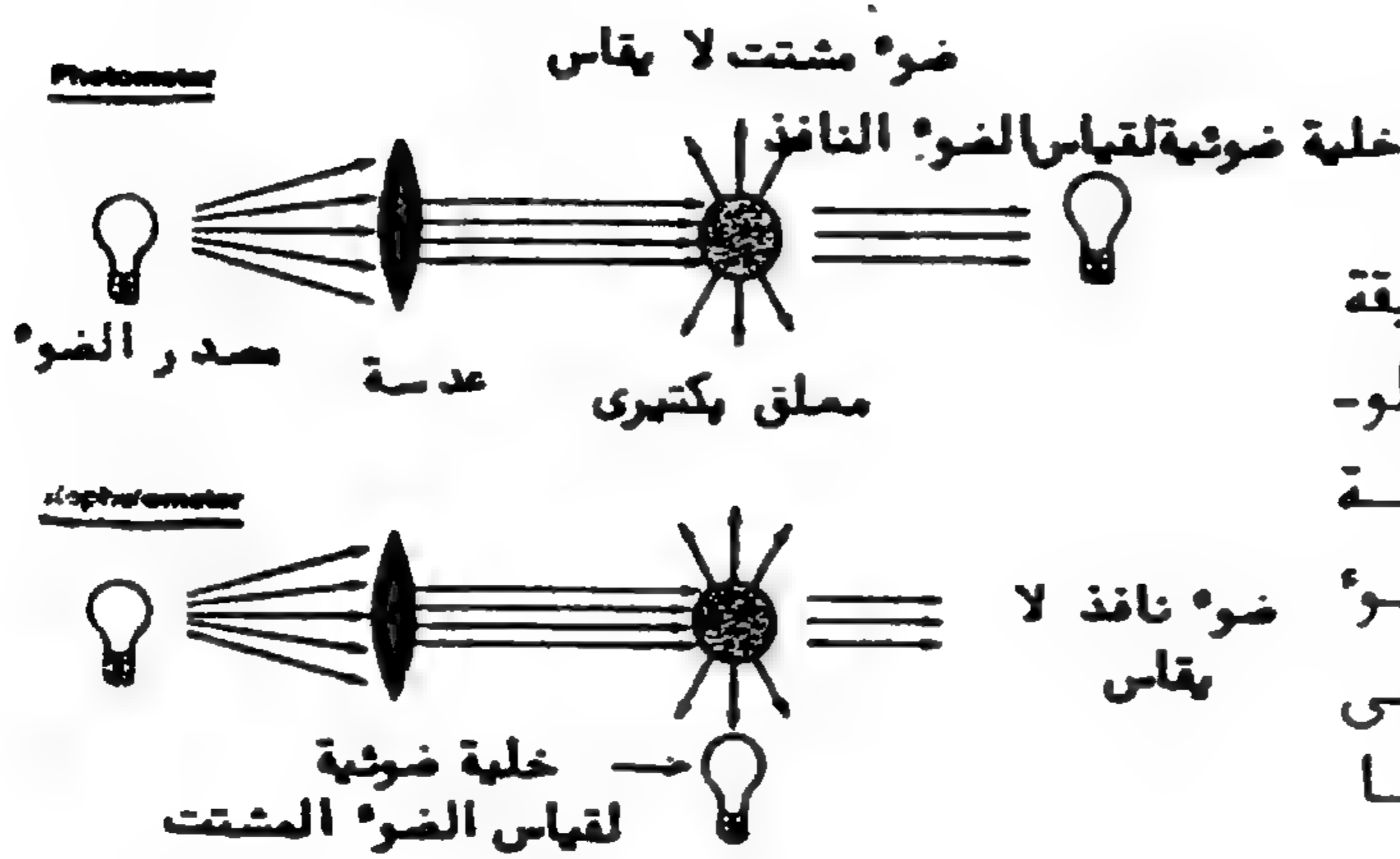
وعند اجراء القياس بهذه الطريقة، فمن الضروري وجود منحنى قياس Standard curve لنمو مزرعة معينة يعد بتوقيع احداثيات درجة الامتصاص الضوئي عند طول موجي معين مع الوزن الجاف للخلايا (شكل ١١-١٣).

وعند أخذ درجات الامتصاص الضوئي أثناء قياس معدلات النمو يمكن معرفة الوزن الجاف مباشرة من المنحنى القياسي ... والملاحظ أن اجراء القياسات عند طول موجي قصير (٤٢٠ نانوميتر) يكون أكثر حساسية (شكل ١١-١٣) ولكن علاقة الخط المستقيم فيه تنحرف سريعاً عندما يصل عدد الخلايا الى ١٠ مليون خلية في الملييتر الواحد (١٠^٧)، ولذلك أحياناً يعمل منحنيان قياسيان أحدهما باستعمال أشعة ذو طول موجي قصير (٤٢٠ نانوميتر) والآخر باستعمال أشعة ذو طول موجي أطول نسبياً (٦٥٠ نانوميتر).



شكل ١١-١٣ : العلاقة بين الامتصاص الضوئي لمعلق بكتيري وكتلة الخلايا في هذا المعلق. تكون العلاقة خطية عند درجات امتصاص ضوئي منخفضة كما أن القياس على طول موجي ٤٢٠-٦٥٠ نانوميتر.

وقد ابتكر حديثا جهاز جديد لقياس كمية الضوء المشتتة (بدلا من كمية الضوء النافذة في الاسبيكتروفوتوميتر) ويسمى النفلوميتر Nephelometer . ويوضح شكل (١١-١٤) الاختلافات في أساس عمل كلا من الاسبيكتروفوتوميتر والنفلوميتر .



٤- عدد البكتيريا التي تمر خلال ثقب صغير باستعمال التيار الكهربائي :

الجهاز المستخدم في هذه الطريقة يسمى عداد كولتر Coulter counter نسبة لمخترعه ويستخدم لقياس عدد البكتيريا في معلق منها بامرارها خلال ثقب صغير (قطره حوالى ٣٠ ميكروميتر) تحت ضغط تيار كهربائي نظرا لأن الخلايا البكتيرية تحمل شحنات سالبة . ويعمل هذا الثقب أيضا على اكمال دائرة كهربائية عن طريق الوسط المعلق فيه الخلايا البكتيرية . فعندما يكون السائل فقط هو الموجود في فتحة الثقب يكون التوصيل الكهربائي عالى وعندما تمر خلية خلال الثقب ينخفض التوصيل الكهربائي ويسجل هذا الانخفاض بالطرق الالكترونية . ويستطيع هذا الجهاز تسجيل الانخفاض في التوصيل ومداه ومدى حدوثه بالنسبة للوقت ، ويمكن بذلك تقدير عدد البكتيريا وحجمها وتوزيعها في المعلق ، ولذلك يجب أن يكون السائل المعلق فيه البكتيريا نظيف تماما وخالى من أى أتربة

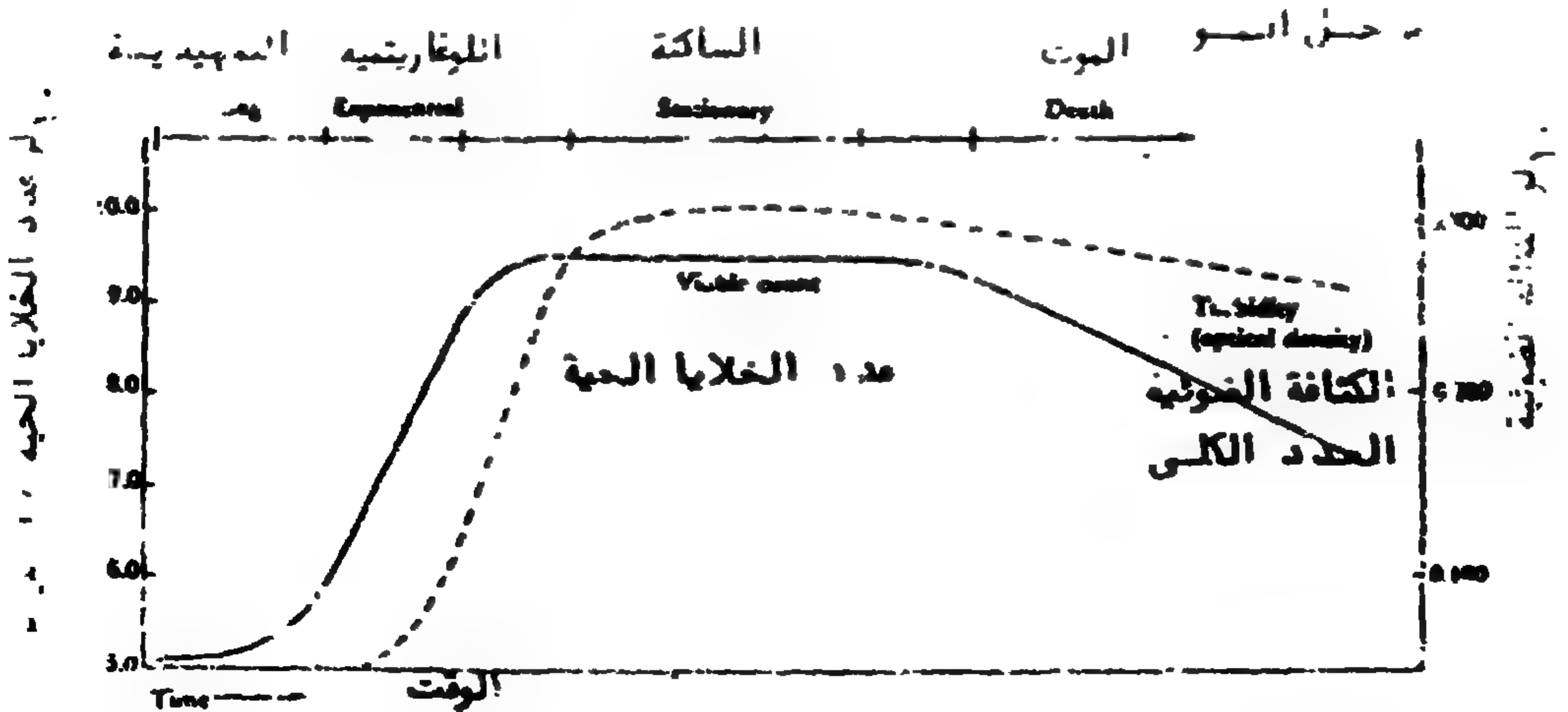
... هما صفيتا جزئياتها ، فالجزئيات الصغيرة ستؤدر الى النسيج ، بخلايا ...
... الجزئيات الكبيرة فتسد فتحة النقب .

تقدير النمو عن طريق تقدير أيا من مكونات الخلية :

يمكن قياس النمو في أى مزرعة بشتيرة عن طريق قياس أحد مكونات الخلية مثل البروتين أو البيتا ، وجليلكان أو أيا من الحمضين النوويين - DNA و RNA أو أى صفة أخرى مثل تقدير كمية أى نشاط أنزيم خلوي أو أوقات مختلفة . وعندما يكون النمو متزاناً فإن الزيادة فى أى من هذه المكونات يتناسب تماماً مع الزيادة فى العدد أو فى وزن الخلايا .

دورة النمو فى المجتمعات الميكروبية :

إن معظم الأحياء الدقيقة تمر أثناء نموها فى مجتمعات فى مراحل محددة تسمى المرحلة التمهيديّة (التجهيزية) lag phase ، يليها المرحلة الأيغاريتمية Exponential ، يليها المرحلة الساكنة Stationary phase ، يليها مرحلة الموت Death phase (شكل ١٥-١) .



شكل ١٥-١ : منحنى نمو لمجتمع من البكتيريا - الخط المستمر يعبر عن أعداد الخلايا الحية والخط المتقطع يعبر عن الأعداد الكلية للبكتيريا (بما فى ذلك الخلايا الحية والميتة) حيث أن قياس درجة التعتيم لمعلق البكتيرى تنتج على كل الخلايا وليس على الخلايا الحية فقط .

(١) المرحلة التمهيدية : Lag phase

عندما تحقق مزرعة ميكروبية في مستنبت جديد فان النمو لا يبدأ فى الحال ولكن النمو يبدأ بعد فترة زمنية تسمى المرحلة التمهيدية . ويختلف طول المرحلة التمهيدية أو المرحلة التحضيرية lag phase على حسب عمر الخلايا . فاذا كانت الخلايا منقولة من مزرعة نشطة فى مرحلة النمو اللوغاريتمى من مستنبت مماثل للمستنبت الجديد فانه لا يمكن تمييز المرحلة التمهيدية ... أما اذا كان المستنبت الجديد أفقر فى عناصره الغذائية من المستنبت الأصيل للمزرعة ، فان الخلايا تحتاج بعض الوقت لبناء بعض المكونات الغير متوفرة فى المستنبت الجديد . أما اذا كانت الخلايا مأخوذة من مزرعة فى المرحلة الساكنة Stationary phase فانها تحتاج بعض الوقت أيضا يختلف بطول فترة المرحلة الساكنة السابقة . ويرجع ذلك لاحتياج الخلية لبناء النقص من بعض المركبات الخلوية مثل بعض الانزيمات ومرافقاتها وغيرها ، وكذلك التخلص من بعض الفضلات التى تراكمت فى الخلية أثناء فترة السكون .

(٢) المرحلة اللوغاريتمية (مرحلة النمو اللوغاريتمى)

Exponential phase

لقد نوقش النمو اللوغاريتمى فيما قبل ويحدث نتيجة لتضاعف الخلايا بعد كل وقت جيلى وتحت الظروف المثلى Optimal conditions . تختلف معدلات النمو للأحياء الدقيقة المختلفة اختلافا كبيرا بعوامل مماثلة فيما يبدو أنها عوامل وراثية بالدرجة الأولى ، ولكن على أى حال فـ ان البكتيريا (الأحياء الدقيقة ذات النواه البدائية) بصفة عامة تتكاثر أسرع من الأحياء الدقيقة ذات النواه الحقيقية . كما تختلف معدلات النمو لاي نوع معين من الكائنات الدقيقة باختلاف ظروف النمو مثل تركيب مستنبت النمو ، ففي المستنبتات الغنية يكون النمو أسرع منه فى المستنبتات الفقيرة حيث يجب على الخلايا فى الحالة الأخيرة بناء كثير من المكونات التى يمكنها الحصول عليها مباشرة من الوسط فى حالة المستنبتات الغنية .

كما تختلف معدلات النمو باختلاف درجات حرارة الوسط أو درجة الحموضة أو وجود مواد كيميائية معينة .

(٣) المرحلة الساكنة : Stationary phase

في وعاء أى مزرعة مغلقة لا يمكن للمرحلة اللوغاريتمية للنمو أن تستمر الى ما لا نهاية . والسبب فى ذلك واضح لو فكرنا فى النتائج المترتبة على النمو اللوغاريتمى لمزرعة بكتيرية بعد ٤٨ ساعة فقط من بدء النمو بخليصة بكتيرية واحدة تنقسم كل (٢٠) دقيقة فانه فى مثل هذه الحالة فان هذه الخلية ستنتج بعد ٤٨ ساعة فقط كمية من الخلايا وزنها 2×10^{31} جرام وهذا يعادل وزن الكرة الأرضية ٤٠٠٠ مرة . وذلك ليس ممكناً بالطبع ... اذ يستحيل توفير العناصر المغذية للحصول على هذا النمو كما أن النواتج الثانوية للنمو يصعب التخلص منها أيضا .

لذلك فان نمو المجتمعات البكتيرية يكون مقيدا بانتهاء العناصر الغذائية من البيئات الطبيعية أو الصناعية (المستنباتات) أو يكون مقيدا بتراكم المخلفات الناتجة عن النمو مثل الأحماض العضوية والكحولات وغيرها التى يكون لها تأثير سام أو مشيط للنمو . وكنتيجة لذلك ينخفض معدل النمو الى أن يتوقف تماما ، وعند ذلك يقال أن المزرعة فى حالة سكون Stationary phase . وفترة الانتقال من مرحلة النمو اللوغاريتمى الى المرحلة الساكنة تشمل فترة من النمو غير المتزن تبني خلالها المكونات الخلوية المختلفة بمعدلات مختلفة ، فبعض المواد تبني بكميات كبيرة وبعضها يبني بكميات صغيرة ، ولذلك فالخلايا فى المرحلة الساكنة يختلف تركيبها الكيميائى عن الخلايا فى المرحلة اللوغاريتمية ، ويختلف التركيب الكيميائى للخلايا فى المرحلة الساكنة بناء على العامل المحدد Limiting factor للنمو . ولكن يمكن بصفة عامة القول أن الخلايا فى المرحلة الساكنة تكون أصغر من الخلايا فى المرحلة اللوغاريتمية ، كما انها تكون أكثر مقاومة للظروف الغير مناسبة مثل الحرارة والبرودة والجفاف .

(٤) مرحلة الموت: Death phase

إذا استمر التحضين بعد وصول المزرعة الى مرحلة السكون فإن الخلايا قد تبقى حية ، ولكن كثيرا ما تبدأ مرحلة أخرى تسمى مرحلة الموت ، وفي هذه المرحلة قد لا يلاحظ نقص في العد المجهرى المباشر ، ولكن يلاحظ نقص واضح بطنى ، فى عدد الخلايا الحية . وفى بعض الحالات التى يكون الموت فيها مصحوبا بتحلل الخلايا فإنه يلاحظ أيضا نقص فى العد المجهرى المباشر أثناء هذه المرحلة .

والموت يشبه النمو ، فكلاهما يتم بطريقة لوغاريتمية . ويختلف معدل الموت باختلاف الوسط وباختلاف الأحياء الدقيقة نفسها ، فبكتيريا القولون لها معدل موت بطنى ، إذا قورنت ببعض البكتيريا العصوية Bacilli الأخرى .

Efficiency of Growth

كفاءة النمو

يمكن قياس كفاءة النمو لكائن ما على عنصر غذائى بقياس ناتج النمو Growth yield لهذا الكائن الدقيق الناتج عن استخدام تركيز معين (كعامل محدد للنمو) من هذا العنصر الغذائى . ويمكن حساب ناتج النمو من المعادلة التالية :

$$\gamma = \frac{X - X_0}{C}$$

γ = Growth yield ناتج النمو

X = كتلة الخلايا عندما تدخل فى مرحلة السكون

X_0 = كتلة الخلايا المستخدمة فى تلقيح المستببت

C = تركيز العنصر الغذائى المستخدم كعامل

محدد للنمو .

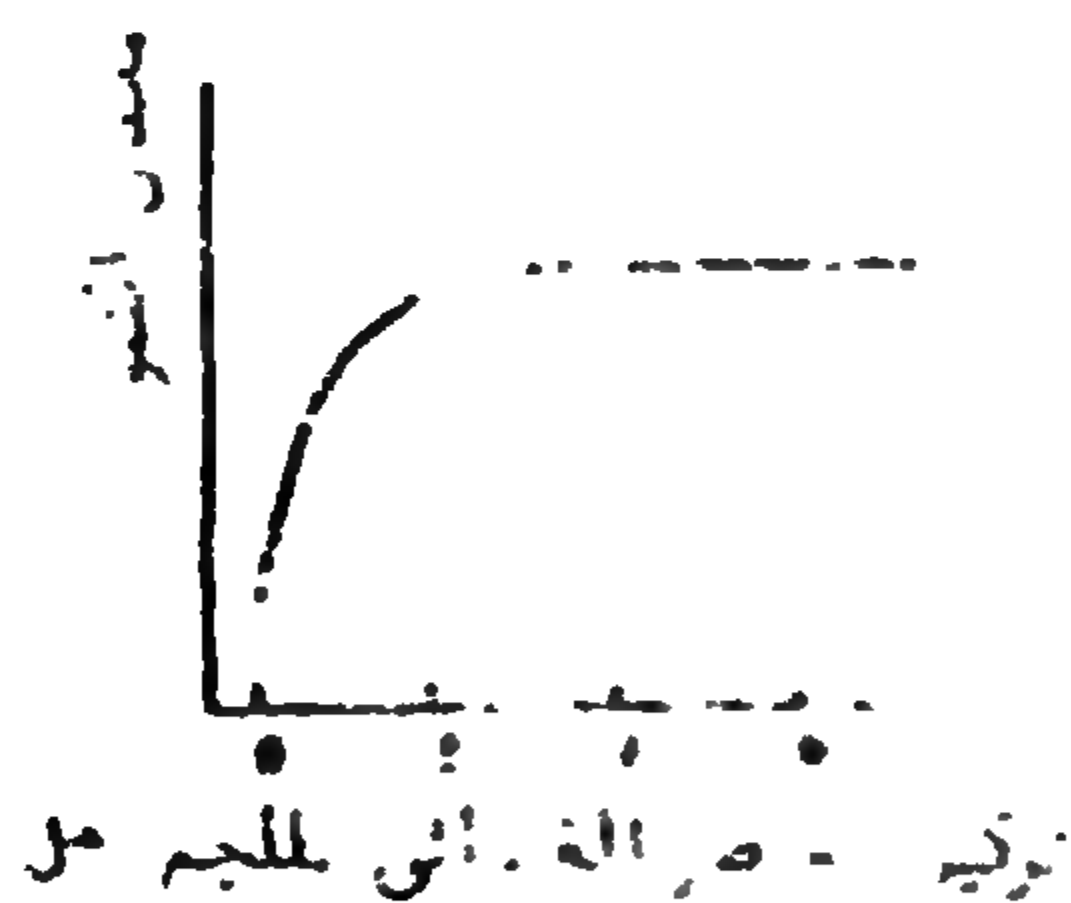
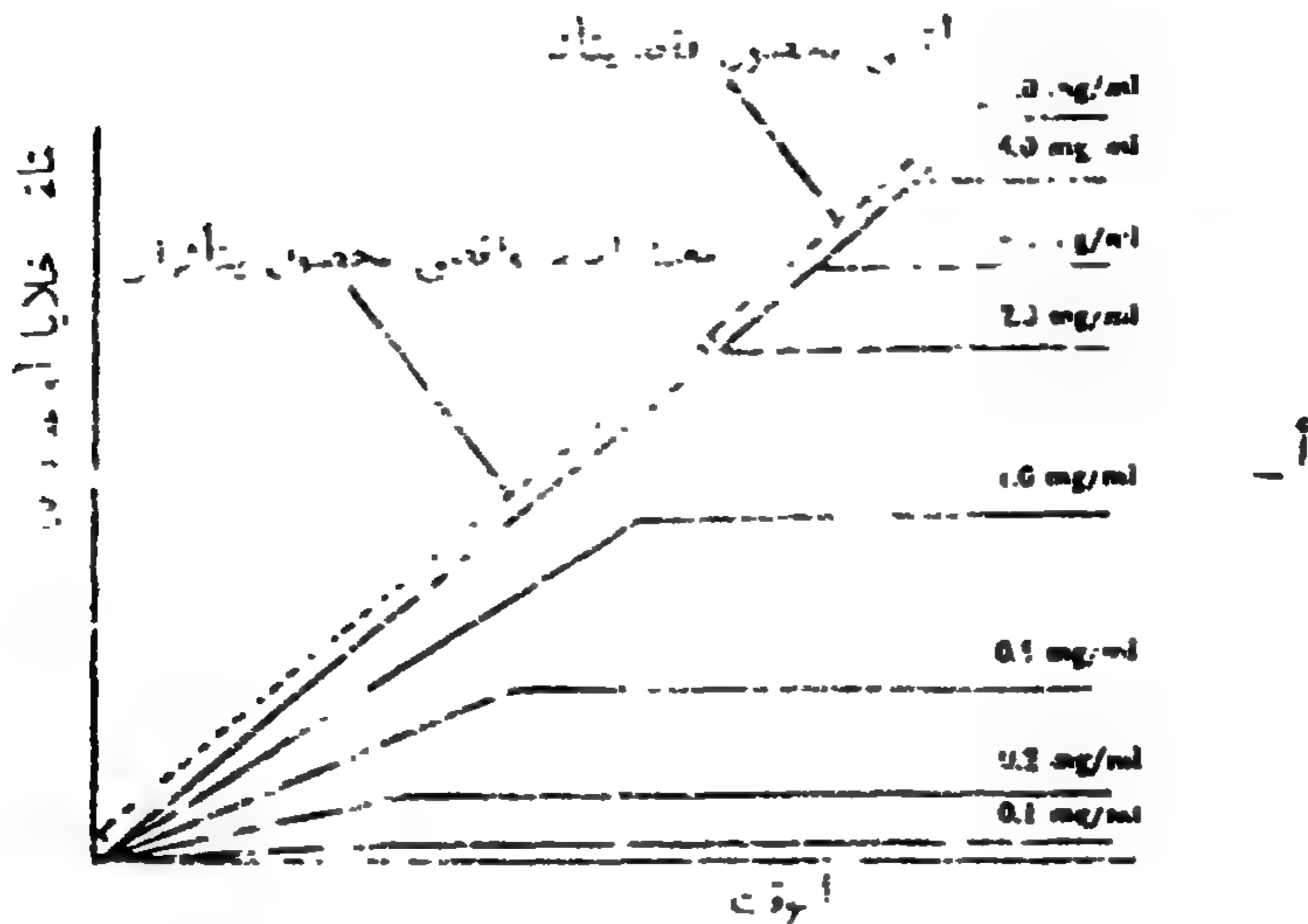
ويمكن قياس ناتج النمو لأعلى عنصر غذائى . وهو قيمة ثابتة يمكن استخدامه لمعرفة التركيز المجهول لهذا العنصر فى وسط ما بقياس كمية

الخلايا النامية الناتجة عن هذا التركيز المجهول (طالما كان هو العامل المحدد للنمو) .

وتعرف هذه الطريقة لتقدير تركيز العناصر الكيميائية باسم التقدير الحيوى Bioassay . وفى الماضى كانت هذه الطريقة تستخدم بكثرة لتقدير تركيز الأحماض الأمينية والفيتامينات فى المواد الغذائية . ولكن حاليا فان الطرق الكيميائية والطبيعية لتقدير هذه العناصر الغذائية أصبحت أكثر شيوعا . ولكن أساس التقدير الحيوى مازال وسيلة بحثية هامة لتقدير المركبات المؤثرة فى النمو . ولاجرا ، التقدير الحيوى لعنصر ما فانه لا بد من وجود كائن حي دقيق يحتاج بصفة أساسية لهذا المركب . ثم يجهز مستنبت مكتمل من جميع العناصر الغذائية ، الا هذا العنصر فيضاف بكميات تجعله عاملا محدد للنمو .

ويؤثر تركيز العنصر على معدل النمو وعلى ناتج النمو Growth yield وعند وجود هذا العنصر بتركيزات منخفضة فان معدل النمو يكون منخفضا ، ويزداد معدل النمو بزيادة تركيز هذا العنصر حتى يصل الى حد لا يزيد بعده معدل النمو ... ولكن ناتج النمو يستمر فى الزيادة على حسب التركيز (شكل ١١-١٦) بشرط ألا تكون زيادة التركيز عامل مثبط للنمو . وعند ما يتوقف معدل النمو عن الزيادة بزيادة العامل المحدد فان عاملا آخر ا فى الواقع يصبح محدد للنمو . أما تأثير التركيز على ناتج النمو فهو سهل الفهم اذ أن العنصر يتحول الى مواد خلوية بنسبة ثابتة . وعلى سبيل المثال فاننا اذا نظرنا الى ناتج النمو للبكتيريا الهوائية الاجبارية Pseudomonas النامية على مستنبت صناعى Synthetic medium يحتوى على الفركتوز كعامل محدد للنمو كمصدر وحيد للكربون والطاقة فان المنحنى المتحصل عليه يوضح أن ناتج النمو من الفركتوز يكون حوالى ٤ ر تقريبا على اعتبار ان محتوى كلا من الفركتوز والمادة الخلوية من الكربون هو ٤٠ % ، ٥٠ % على التوالى . وبسهولة يمكن التوصل الى أن نصف الفركتوز يتحول الى مواد خلوية بينما النصف الآخر تقريبا يتحول الى ثانى أكسيد الكربون أثناء انتاج الطاقة . وقد أوضحت الدراسات أن عددا آخر من البكتيريا الهوائية الاجبارية تستطيع تحويل كربون السكريات المختلفة

الى كربون المادة الخلوية بكفاءة تحويل من ٢٠ الى ٧٠% وهذا يفسر الاختلافات تعكس الفروق في كفاءة الخلايا على انتاج المركبات الغنية في الطاقة مثل ATP أثناء عمليات التمثيل الغذائي.



شكل ١٦-١٦ العلاقة بين تركيز المصدر الغذائي، ونسبته المكونة من الكربوهيدرات، ومختلفة من المصدر الغذائي، عند تركيزات منخفضة، تأثير معدل النمو وناتج الخلايا، ب- تأثير تركيز المصدر الغذائي على معدل النمو.

وعند نمو بعض الأحياء الدقيقة، يتخمر في مستنبتات غنية مزودة بعناصر شعبة لتدعيم الجزيئات في الخلية، وجد أن هذه الكائنات لا تحول كربون السكريات التي، ماد خضوية، إلا بنسبة ضئيلة جداً، ومعظم المواد الخشوية تتكون من العناصر الموجودة طبيعياً في المستنبتات (كالأحماض الأمينية والقواعد النيتروجينية المختلفة وغيرها) بينما تستعمل المادة القابلة للتخمر كمصدر للطاقة فقط، وحيث أن ناتج الـ ATP من

مسارات التخمرات المختلفة معروف (فمثلا يؤدي تخمر السكريات السداسية خلال مسار ايمبدن - مايرهوف Embden-Meyerhof pathway الى انتاج عدد ٢ مول ATP من كل مول سكر عند التخمر مثل ما يحدث في التخمر بالخميرة - بينما يؤدي تخمر السكريات السداسية خلال مسار انتنرودوروف Entner-Doudoroff pathway الى انتاج مول واحد من الـ ATP من كل مول سكر عند التخمر) وحيث أن ناتج المادة الخلوية الجافة الناتجة من كل مول ATP أيضا معروفة (المول الواحد من ATP ينتج حوالي ٠ اجم تقريبا من المادة الخلوية الجافة في معظم البكتيريا) فانه يمكن حساب كميات الخلايا الناتجة عن استخدام سكر من السكريات اذا علمنا أى المسارات تتبع لتخمير هذا السكر في كل نوع من أنواع الأحياء الدقيقة .

فالبكتيريا *Zymomonas mobilis* تخمر الجلوكوز الى كحول خلال مسار انتنرودوروف منتجة مول واحد من الـ ATP من كل مول سكر وبذلك فهي تنتج نصف كمية المادة الخلوية التي تنتجها الخميرة من مول واحد من السكريات ، وذلك لأن الخميرة تحول الجلوكوز الى كحول خلال مسار ايمبدن - مايرهوف والذي ينتج ٢ مول ATP من كل مول جلوكوز .

وبذلك يمكن بوضوح رؤية أن كمية المادة الخلوية الناتجة عن مول واحد من الـ ATP تكاد تكون ثابتة وبالعكس من ذلك فان كمية المادة الخلوية الناتجة عن السكريات في الكائنات المختلفة متغيرة على حسب مسار التمثيل الغذائي الذي تتبعه السكريات في تلك الكائنات المختلفة .

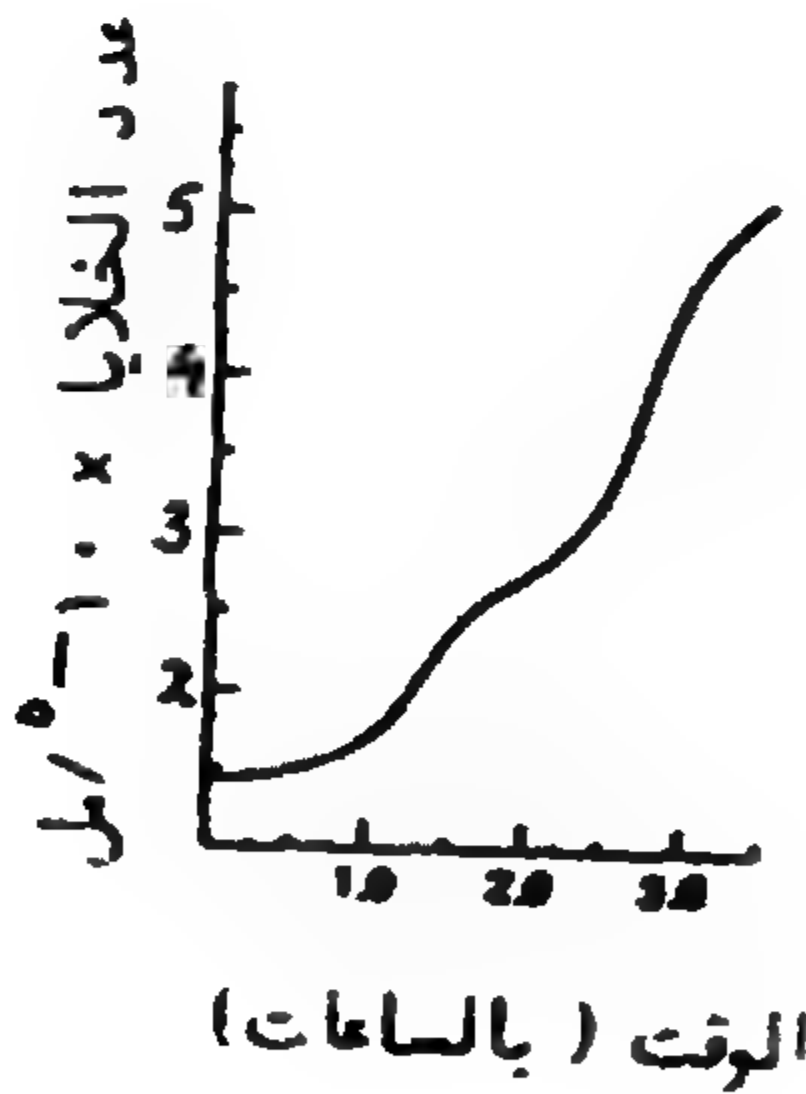
نمو الخلايا ذات العمر الواحد : Synchronous growth

ان منحنى النمو الذي سبق الإشارة اليه يوضح نمو مجتمع من الخلايا ذات أعمار مختلفة وأحجام مختلفة ، ولا يمكن منه استقاء معلوما واضحة عن نمو الخلايا الفردية أما المعلومات عن الخلايا الفردية في الـ chronus cultures (خلايا كلها في نفس المرحلة من دورة حياة الخلية) والقياسات المأخوذة من هذه المزارع تمثل القياسات المأخوذة عن خلايا فردية .

ومزارع البكتيريا ذات العمر الواحد يمكن الحصول عليها بعدد من طرق التقنية الحديثة فيمكن التأثير على الخلايا بمؤثرات بيئية مختلفة لجعلها تنقسم في نفس الوقت وعلى فترات . وفي بعض البكتيريا يمكن تحقيق ذلك بنقل المزارع على فترات متساوية الى درجات حرارة مرتفعة ومنخفضة أو بوضع خلايا بدأت لتوها مرحلة السكون في مستنبت جديد — كما يمكن الحصول على خلايا ذات عمر واحد بالفصل الطبيعي للخلايا التي تكونت لتوها بالانقسام عن الخلايا الأكبر عمرا عن طريق الترشيح أو الطرد المركزي . والفصل الطبيعي أفضل كثيرا حيث تكون الخلايا في حالة فسيولوجية طبيعية دون مؤثرات خارجية .

والطريقة التي تختار بها هذه الخلايا تعرف باسم طريقة هيلمستتر — كامينجز (Helmstetter-cummings) وهي تتركز على أن بعض البكتيريا تلتصق بشدة بأغشية نترات السليلوز Cellulose nitrate (ملليبور) .

وتشمل الطريقة ترشيح مزرعة من البكتيريا ذات الأعمار المختلفة على غشاء ملليبور ثم يقلب الغشاء ويغسل بتيار خفيف من مستنبت صناعي لازالة الخلايا غير شديدة الالتصاق بالغشاء (شكل ١١-١٧) ويتبقى بعد ذلك الخلايا الملتصقة بالغشاء بشدة .



شكل ١١-١٧ : نمو الخلايا ذات العمر الواحد بطريقة هيلمستتر — كامينجز .



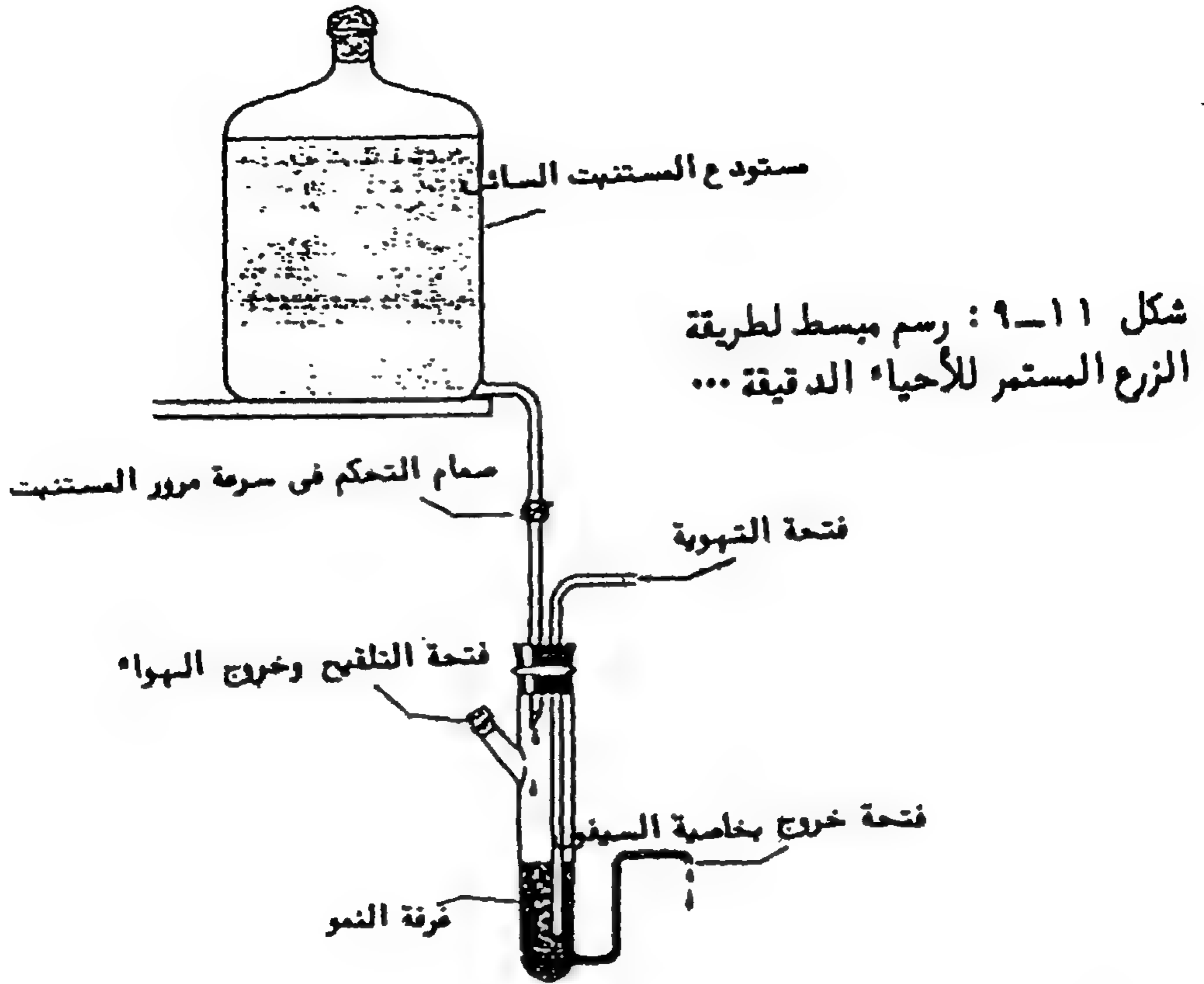
شكل ١١-١٨ : نضج نمو الخلايا ذات العمر الواحد بطريقة هيلمستتر كامينجز حيث أخذت العينات الناتجة من غشاء الترشيح كل ثلاث دقائق وحضنت على ٣٠ م.

فإذا استمررتنا في إضافة المستعنت الصناعي فإن الخلايا التي تنمو هي فقط الخلايا التي تكونت، بآلية سام حديث . فإذا جمعت كميات السائل الراشح كل دقيقتين تكون الخلايا في هذا السائل كلها ذات أعمار متقاربة جداً ، وإذا أجريت لها دراسة نمو كالسابقة فانتا نحصل على المنحنى الموضح في الشكل (١١ - ١٨) والملاحظ أن الخلايا تفقد صفة وحدة الأعمار بسرعة نتيجة لأنها تنقسم في أوقات مختلفة منتجة مزرعة تحتوي على خلايا ذات أعمار مختلفة تسلك سلوكاً مماثلاً لما سبق ايضاحه في منحنى النمو (شكل ١١ - ١٨) .

الزراعة المستمرة للأحياء الدقيقة :

Continuous culture of microorganisms
المزارع التي نوقشت حتى الآن هي من نوع مزارع الدفعات Batch cultures لا تتجدد فيها العناصر المغذية ، ولذلك فإن النمو اللوغاريتمي فيها يستمر لعدة أجيال قليلة فقط ، ويمكن الاحتفاظ بمرحلة النمو اللوغاريتمي لفترات زمنية طويلة باستعمال نظام الزرع المستمر - الكيموستات Chemostat - شكل (١١ - ١٩) . حيث تكون غرفة النمو متصلة بمستودع يحتوي على مستعنت معقم .

بمجرد بدء النمو فإن كميات صغيرة من المستعنت المعقم تتساق بمعدل ثابت من المستودع . ويظل حجم السائل في غرفة النمو ثابتاً عن طريق السماح للزيادة من السائل (الناتجة عن الاضافة المستمرة من المستودع) بالانسياب خلال سيفون Siphon وإذا دخل المستعنت الجديد بمعدل ثابت الى غرفة النمو فإن كثافة البكتيريا في غرفة النمو تظل ثابتة بعد فترة ضبط في بداية تشغيل الكيموستات Chemostat . ومعنى آخر فإن البكتيريا تنمو بسرعة فقط تكفي لتعويض البكتيريا المفقودة خلال السيفون Siphon . وإذا عدل معدل دخول المستعنت الجديد الى غرفة النمو فإنه يلى ذلك فترة ضبط جديدة يليها تغير معدل النمو ليتناسب مع المعدل الجديد لدخول المستعنت . ولذلك نجد أن الذي يحدد معدل النمو في الكيموستات هو معدل اضافة المستعنت الجديد



وكذلك تركيز العامل المحدد للنمو . ويجب عند تشغيل الكيموستات ضبط معدل التغذية حيث أن زيادة اضافة المستنبت أكثر من اللازم أو قلته عن اللازم يؤدي الى غسيل المزرعة من غرفة النمو .

ويوجد نظام مماثل للزرع المستمر يسمى التريبد وستات Turbidostat يختلف عن الكيموستات اختلافا بسيطا . فالكيموستات ينساب فيه المستنبت الجديد من المستودع بمعدل معين للحصول على معدل نمو للمزرعة يتناسب مع معدل الانسياب المذكور . أما التريبد وستات فيشمل وسائل بصرية حساسة لقياس الامتصاص الضوئي Absorbancy في غرفة النمو وهذه الوسائل متصلة كهربيا مع صمام مركب على المستودع . فعندما تصل درجة التعكير في غرفة النمو الى حد معين فان الصمام المركب على المستودع يفتح أوتوماتيكيا ليسمح بجزء جديد من المستنبت بالنزول في

غرفة النمو فتخف درجة التعكير فيقلل الصام مرة ثانية ، وفي هذه الحالة فان الامتصاص الضوئى هو الذى يتحكم فى معدل انسياب السائل الجديد من المستودع ، وهذا بدوره يتحكم فى معدل النمو .

الفصل الثاني عشر

العوامل التي تؤثر على نمو ونشاط الكائنات الدقيقة وأهميتها

يتأثر نشاط ونمو الأحياء الدقيقة كثيرا بالظروف الطبيعية والكيميائية للبيئات التي يعيشون فيها . ومما لا شك فيه أن فهم التأثيرات البيئية المختلفة ستساعدنا على شرح توزيع الكائنات الدقيقة في الطبيعة كما أنها تجعل من الممكن وصف الطرق اللازمة للتحكم في نشاط الكائنات الدقيقة والتخلص من الأنواع غير المرغوبة منها . ولا تستجيب الأحياء الدقيقة للمؤثرات البيئية المختلفة بطريقة متماثلة ، بل على العكس من ذلك تماما فان بعض المؤثرات الضارة لبعض الأحياء الدقيقة قد تكون مفيدة لأحياء دقيقة أخرى . وعلى أي حال فان الأحياء الدقيقة تستطيع تحمل بعض الظروف غير المناسبة أثناء نموها ، لذلك لزم التنويه بين تأثير الظروف البيئية على نشاط وتكاثر الأحياء الدقيقة وبين تأثير الظروف البيئية على حياة تلك الأحياء .

أولاً درجة الحرارة Temperature

تعتبر درجة الحرارة أحد أهم العوامل التي تؤثر على نمو الأحياء الدقيقة وتكاثرها ، كما تستخدم المعاملات الحرارية المرتفعة لقتل الأحياء الدقيقة . فالحرارة يمكنها أن تؤثر على نمو ونشاط الأحياء الدقيقة في أي من اتجاهين متضادين (ارتفاعا وانخفاضا) ويخضع تأثير درجة الحرارة على نمو الأحياء الدقيقة لمعادلة أرهينيوس Arrhenius التي توضح العلاقة بين سرعة أي تفاعل كيميائي ودرجة حرارة التفاعل :

$$k = \frac{A e^{-\frac{E_a}{RT}}}{T}$$

حيث تكون :-

س = سرعة التفاعل

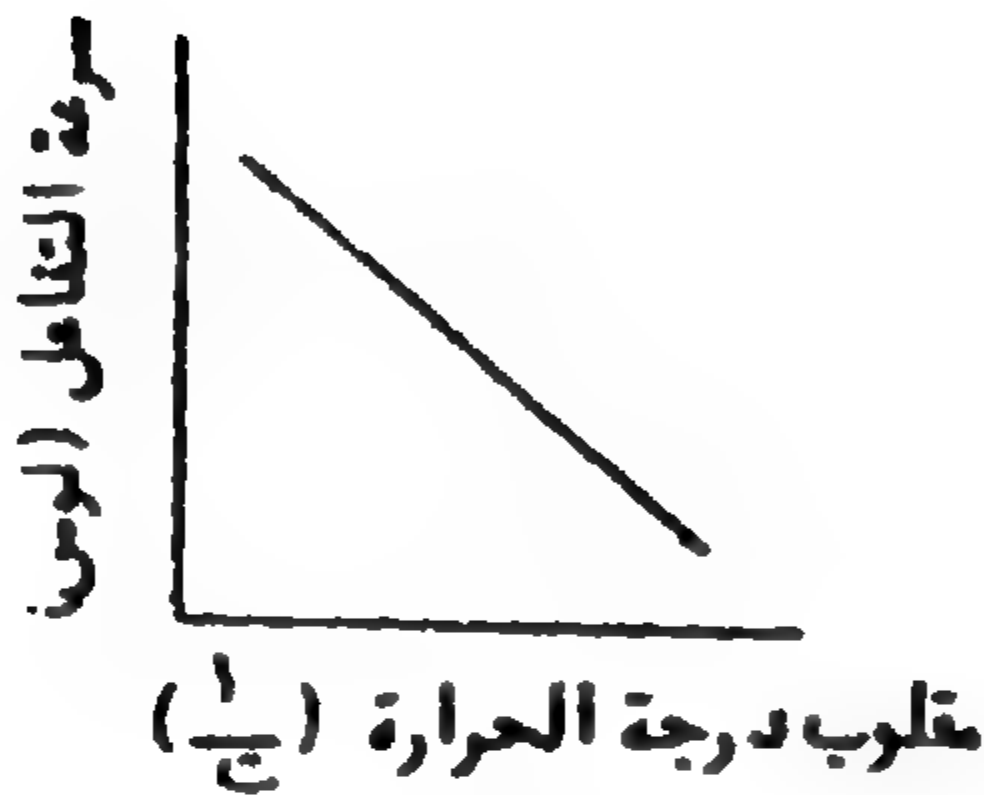
Δ ح = طاقة التنشيط للتفاعل

ر = ثابت الغازات

ت = درجة الحرارة بوحدات كلفن
ج = ثابت.

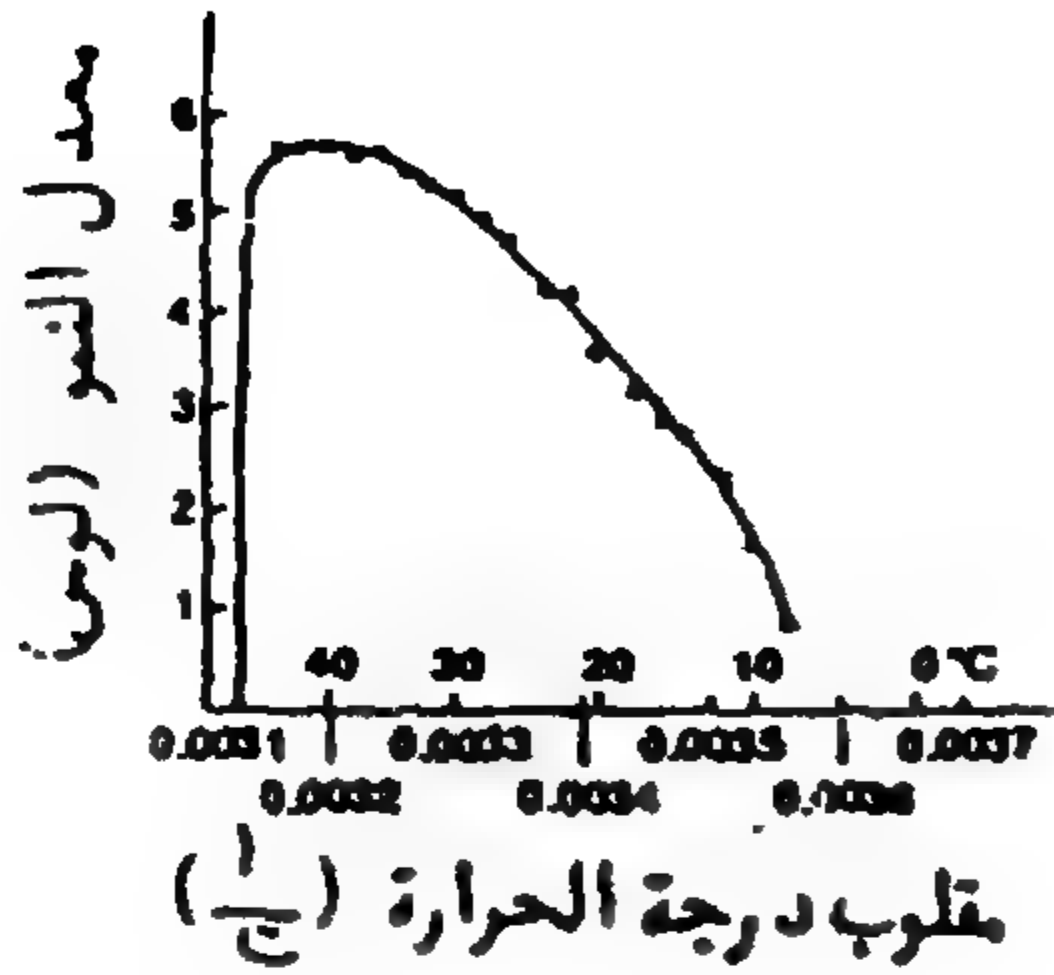
لذلك، فعند رسم العلاقة بين سرعة أى تفاعل كيميائى (س) ومقلوب درجة الحرارة بوحدات كلفن فانتا نحصل على خط مستقيم (شكل ١٢-١) ذو ميل سالب.

شكل ١٢-١ : العلاقة بين
سرعة تفاعل كيميائى ومقلوب
درجة الحرارة وفقا لمعادلة
أرهينيوس.



وعند رسم العلاقة بين سرعة نمو الأحياء الدقيقة (س) مع مقلوب درجة حرارة النمو بوحدات كلفن فانتا نحصل على خط مماثل على مدى معين من درجات حرارة النمو. حيث أن النمو يقل بسرعة عند كلا الطرفين (شكل ١٢-٢) الحد العلوى والحد السفلى لمدى درجات حرارة النمو. فالهبط السريع لمعدل النمو عند درجة حرارة مرتفعة يرجع لعدم ثبات البروتينات والأحماض النووية ... أما الهبوط السريع لسرعة النمو فى النهاية الأخرى من الخط (شكل ١٢-٣) فهي غير معروفة على وجه التأكيد. فمن معادلة أرهينيوس فانه من المتوقع أن يقل معدل النمو كلما انخفضت درجة الحرارة حتى يتوقف عندما يتجمد وسط التفاعل، ولكن الملاحظ فى الأحياء الدقيقة أن النمو يتوقف قبل درجة التجمد فى كثير من الحالات ومن الجائز أن تؤثر درجة الحرارة المنخفضة على الدور الهام الذى يلعبه الغشاء الخلوى فى نقل العناصر الغذائية الى داخل الخلية.

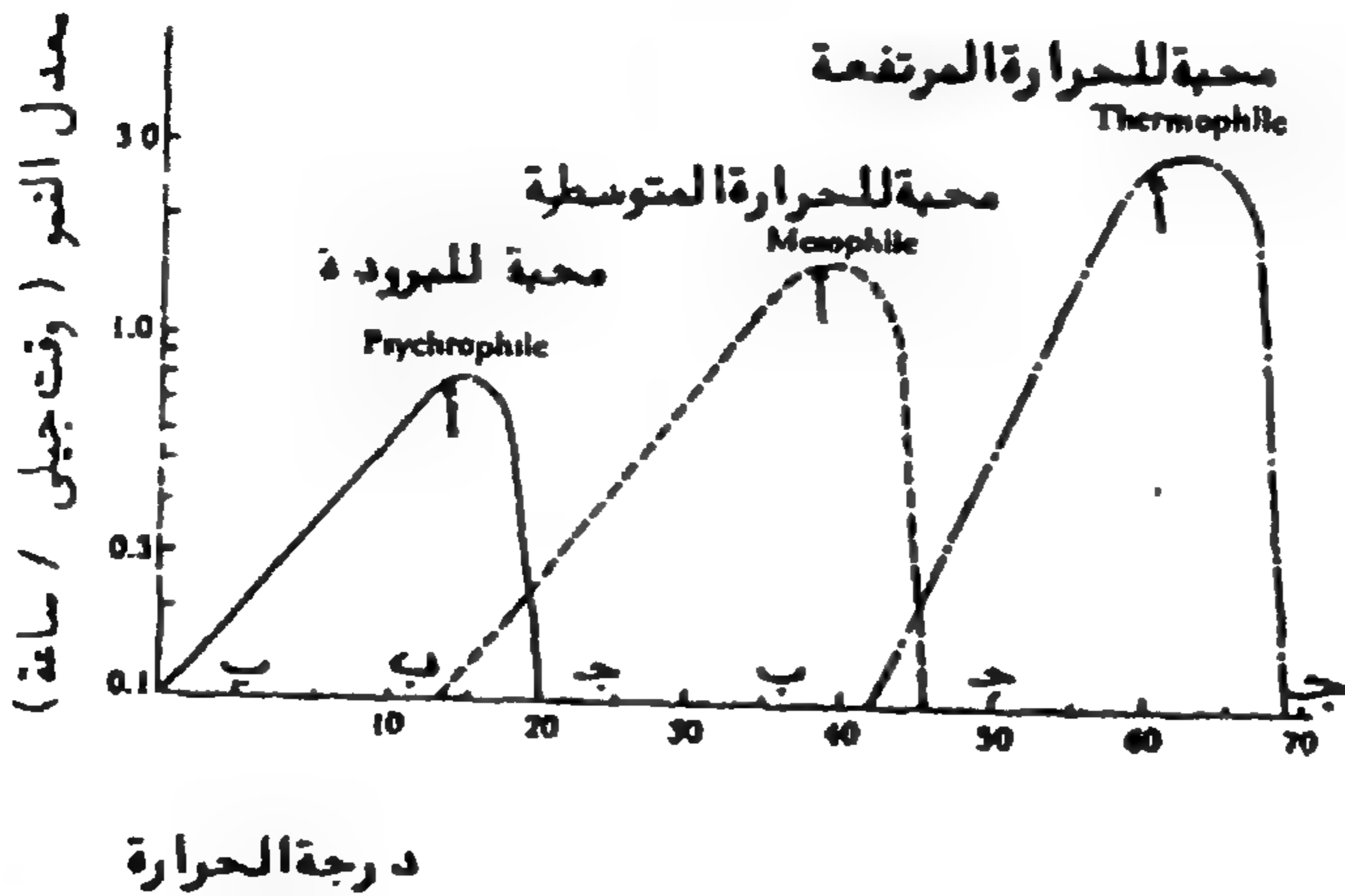
ولذلك فانه كلما زادت درجة الحرارة زاد معدل النمو حتى نهاية مدى معين من درجات الحرارة وهو المدى الذى تزيد فيه سرعة التفاعلات



شكل ١٢-٢ : العلاقة بين معدل النمو (لوس) ومقلوب درجة الحرارة $\frac{1}{T}$ لبكتيريا القولون

E. coli

الكيميائية والانزيمية في الخلية دون اتلاف الأحماض النووية والبروتينات وإذا زادت درجة الحرارة عن ذلك المدى بالدرجة التي تسمح باتلاف الأحماض النووية والبروتينات فإن معدل النمو ينخفض بسرعة كبيرة فجأة (شكل ١٢-٣) ويمكن بناءاً على ذلك تحديد ثلاث درجات حرارة للنمو خاصة لكل كائن حي كما يلي :



- أ - درجة الحرارة المثلى
- ب - درجة الحرارة الدنيا
- ج - درجة الحرارة القصوى

شكل ١٢-٣ : العلاقة بين درجة الحرارة ومعدل النمو للأحياء الدقيقة المحبة للبرودة Psychrophile والمحبة للحرارة المتوسطة Mesophiles والمحبة للحرارة المرتفعة Thermophile

(١) درجة الحرارة الدنيا (الصغرى) للنمو $Minimum\ temperature$

وهي أقل درجة حرارة يحدث عنها نمو . بمعنى أنه إذا انخفضت درجة الحرارة عنها يتوقف النمو تماما . وقد يحدث خطأ في تقديرها أحيانا فقد يعتقد الباحثون أن النمو قد توقف عند درجة حرارة معينة ، بينما يكون مستمرا ، ولكن الوقت الجبلى يكون طويلا . والسبب في توقف النمو عند درجة حرارة أقل من درجة الحرارة الدنيا غير معروف .

(٢) درجة الحرارة المثلى للنمو $Optimum\ temperature$

وهي أفضل درجة حرارة للنمو أو درجة الحرارة التى ينمو عندها الكائن الحي بأعلى معدل للنمو .

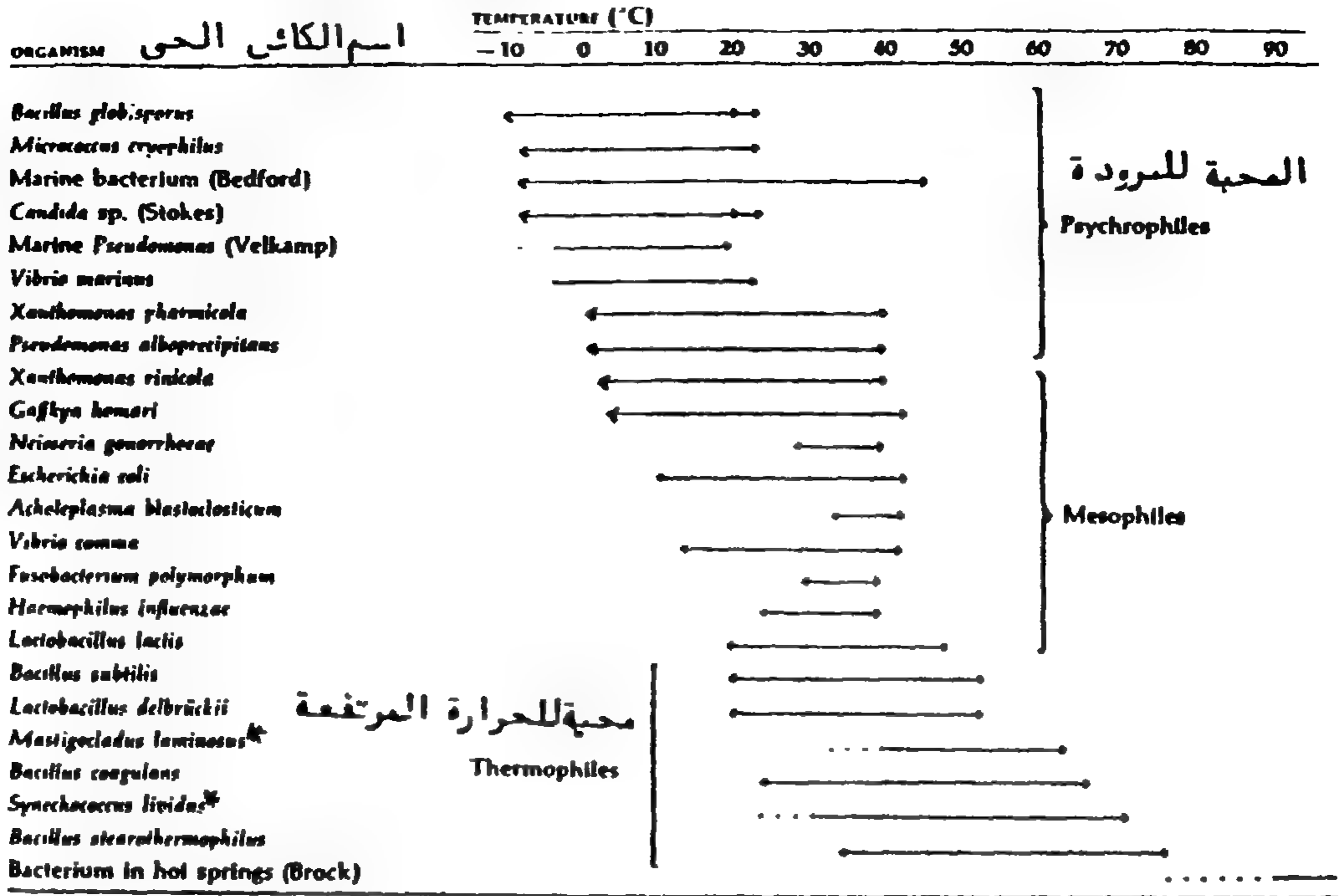
(٣) درجة الحرارة القصوى (العظمى) للنمو $Maximum\ temperature$

وهي أعلى درجة حرارة يحدث عندها نمو ، وبمعنى آخر هي درجة الحرارة التى يتوقف النمو بعدها . والسبب في عدم قدرة الأحياء الدقيقة على النمو عند درجات حرارة أعلى من درجة الحرارة القصوى للنمو هو التلف الذى يحدث في البروتينات والأحماض النووية ، وتكون درجة الحرارة المثلى عادة أقرب لدرجة الحرارة العظمى للنمو عنها لدرجة الحرارة الدنيا (الصغرى) .

وتعتبر درجات الحرارة السابقة الذكر خواص محددة هامة $Cardinal\ temperature$

لكل نوع من أنواع الأحياء الدقيقة ولكنها ليست دائما ثابتة . إذ أنها قد تتغير بواسطة عوامل بيئية معينة ، كما تختلف درجات الحرارة الثلاث من ميكروب لآخر فبعض الأحياء الدقيقة لها درجات حرارة مثلى تتراوح بين $10^{\circ}C$ ، $5^{\circ}C$ بينما البعض الآخر له درجات حرارة مثلى تصل الى $25^{\circ}C$ - $80^{\circ}C$. أما المدى الذى تنمو فيه الكائنات الدقيقة فهو أكبر من ذلك ، فبعض الكائنات تستطيع أن تنمو على درجات حرارة تحت درجة حرارة تجمد المياه تصل الى $12^{\circ}C$ بينما تستطيع بعض الكائنات الدقيقة النمو على درجة حرارة غليان الماء ($100^{\circ}C$) ولكنه لا يوجد ميكروب واحد يستطيع النمو على هذا المدى الواسع من درجات الحرارة . ولكن المدى العادى لمعظم الأحياء الدقيقة يكون عادة بين $30^{\circ}C$ ، $40^{\circ}C$

جدول ١٢-١ : مدى درجات حرارة النمو لبعض ذوات النواة البدائية



الخطوط المنتهية بسهم واحد توضح وجود درجة حرارة محددة عند نهاية هذا السهم.

الخطوط المنتهية بسهمين توضح درجة الحرارة القصوى بين هذين السهمين.

الأسهم الممتدة بخطوط متقطعة تبين عدم التوصل الى درجة الحرارة الصغرى للنمو. * عبارة عن بكتيريا خضراء مزرقّة.

وان كانت بعض الأحياء الدقيقة لها مدى أقل أو أكثر من ذلك (جدول ١٢-١) ويمكن تقسيم الأحياء الدقيقة على حسب اتساع أو ضيق مدى درجات حرارة النمو الى :

١- الأحياء الدقيقة ذات المدى الضيق من درجات حرارة النمو Stenothermal وهي عادة توجد في الأماكن ذات درجات الحرارة الثابتة نوعاً ما .

٢- الأحياء الدقيقة ذات المدى الواسع من درجات حرارة النمو Eurythermal وهي عادة توجد في الأماكن التي تتعرض لاختلافات

كبيرة في درجات الحرارة . وكلا النوعين من الأحياء الدقيقة لهما درجات حرارة دنيا ومثلى وعظمى للنمو .

وبالرغم من استمرارية مدى درجات الحرارة بين الأحياء الدقيقة المختلفة وتداخل المدى بين الأنواع المختلفة ، إلا أنه يمكن تقسيم الأحياء الدقيقة بصفة عامة الى :

١- الأحياء الدقيقة المحبة لدرجات الحرارة المرتفعة *Thermophiles* وهي الأحياء الدقيقة التى تنمو على درجات حرارة مرتفعة (أعلى من ٥٠°م) .

٢- الأحياء الدقيقة المحبة للحرارة المتوسطة *Mesophiles* وهي الأحياء الدقيقة المحبة للحرارة المتوسطة (من ٢٠ الى ٤٥°م) .

٣- الأحياء الدقيقة المحبة (للبرودة) لدرجات الحرارة المنخفضة *Cryophilic or Psychrophilic* وهي الأحياء الدقيقة التى لها درجة حرارة مثلى للنمو مساوية ١٥°م أو على أن تكون درجة الحرارة الدنيا (الصغرى) لنموها تساوي صفر°م أو أقل ويجدر الإشارة الى أن بعض المراجع تعرف هذه المجموعة على أنها تلك الأحياء التى تستطيع النمو على درجة صفر°م وليس هذا دقيقا بالطبع .

وهذه الأحياء صعبة الدراسة فى المعمل عادة ، اذ أنها كثيرا ما تموت لو ارتفعت درجة الحرارة قليلا فيجب الحذر الدائم والاحتفاظ بها فى غرف مبردة طول الوقت . كما يجب تبريد المعدات والمستنبطات قبل الاستعمال . لذلك فهذه الأحياء لم تدرس دراسة كاملة بعد . ولكن توجد دراسات كافية تدل على أن هذه الأحياء موجودة ومنها بعض البكتيريا والطحالب والفطريات ، وأكثر هذه الأحياء دراسة هو الطحالب بنية أو دياتومية ذات نواه حقيقية تنمو فى طبقة الجليد وتحت السطح بكميات كبيرة فى المناطق القطبية ، ومن أمثلتها الطحلب المسمى *Fragi11-aria sublinearis* ومن أكثر الطحالب تلونيا للجليد (باللون الأحمر)

هو الطحلب *Chlamydomonas nivalis* كما أن الفطر *Typhula* - وهو يصيب الحشائش وقمح الشتاء في المناطق الباردة - من الأحياء الدقيقة المحبة للبرودة الاجبارية .

٤- الأحياء الدقيقة التي تتحمل (البرودة) درجات الحرارة المنخفضة *Psychrotroph* وهي الأحياء الدقيقة التي تستطيع النمو على صفر° ولكن درجة الحرارة المثلى لنموها أكثر من ٢٠°م كأن تكون ٢٥°م أو ٣٠°م أو أكثر . وأحيانا يطلق على هذه الأحياء الدقيقة اصطلاح " المحبة للبرودة " الاختيارية *Facultative Psychrophiles* ومثل هذه الكائنات تنتشر بكثرة في البيئات الطبيعية التي تتعرض لمدى كبير من درجات الحرارة كاللحوم واللبن ومنتجاته والخضروات والفاكهة وغيرها من المواد ، وينتج عن ذلك تدهور صفات مثل تلك المواد ، وكلما ارتفعت درجة حرارة التخزين لهذه الأغذية كلما زادت سرعة تلف هذه الأغذية نظرا لأن الأحياء الدقيقة التي تسبب تلفها تنمو أفضل على درجات الحرارة المرتفعة ولكنها تتحمل البرودة . وكلما انخفضت درجة حرارة التخزين كلما طالت مدة الحفظ بدون حدوث التلف . ولحسن الحظ أن الأحياء الدقيقة التي تسبب تلف الأغذية المبردة هي من نوع الأحياء الدقيقة التي تتحمل البرودة *Psychrotroph* الشائعة في أماكن المدنية البشرية وليست من نوع الأحياء الدقيقة المحبة للبرودة الاجبارية *Psychophilic* الغير شائعة في أماكن انتشار المدنية البشرية . فالأحياء الدقيقة المحبة للبرودة الاجبارية ربما تنمو أسرع في الأغذية المبردة ، وقد تصبح السيطرة على هذه الأحياء الدقيقة في الأغذية بالتبريد - دون التجميد - أكثر صعوبة .

أما الأحياء المحبة للحرارة المتوسطة *Mesophiles* فهي توجد في الحيوانات ذات الدم الحار وفي التربة والمياه والمغذيه والمالحمة وواسعة الانتشار في الطبيعة على عكس الأحياء المحبة للحرارة المرتفعة *Thermophiles* .

وفيما يلي نعرض أهم البيئات الطبيعية الباردة والساخنة .

البيئات الطبيعية الباردة : Cold environments

ان أغلب أجزاء العالم ذات درجة حرارة منخفضة نسبياً . فالمحيطات التي تكون أكثر من نصف سطح الكرة الأرضية تكون درجة حرارتها في المتوسط حوالي ٥°م وتكون درجة الحرارة في أعماق المحيطات عادة بين ١-٢°م . كما أن مساحات كبيرة من الأرض في كلا القطبين الشمالي والجنوبي تكون متجمدة معظم العام فيما عدا أسابيع قليلة في الصيف . وهذه المناطق تشجع وجود الأحياء الدقيقة المحبة للبرودة الاجبارية وهي من الأحياء الدقيقة ذات المدى الضيق من درجات حرارة النمو Stenothermal .

وهذه البيئات الطبيعية الباردة نادراً ما تكون معقمة ، وغالباً ما يوجد بها أحياء دقيقة حية ، بل ونامية أيضاً طالما وجدت أوساط غير متجمدة . والمعروف أن معظم المواد المتجمدة يوجد بها جيوب صغيرة تحتوي على سوائل غير متجمدة وخاصة في وجود مواد صلبة ذائبة . ومثل هذه الجيوب تنمو فيها الأحياء الدقيقة حتى على درجات حرارة أقل من الصفر المئوي ، ومن المهم التمييز بين البيئات الطبيعية الباردة على مدار العام مثل أعماق المحيطات والقطبين وقمم الجبال الشاهقة ، وبين البيئات الطبيعية التي تكون باردة في الشتاء فقط مثل تلك التي توجد في القارات الخمس حيث ترتفع الحرارة في الصيف إلى ٣٠°م أو أكثر وتنخفض في الشتاء إلى صفر أو أقل في كثير من المناطق ، ومثل تلك المناطق لا تشجع نمو الأحياء الدقيقة المحبة للبرودة الاجبارية Psychrophiles ولكنها تشجع نمو الأحياء الدقيقة المحبة للبرودة الاختيارية Facultative Psychrophile or Psychotroph . ومعظمها من الأحياء الدقيقة ذات المدى الواسع من درجات حرارة النمو Eurythermal ومثل هذه الأحياء الدقيقة المحبة للبرودة الاختيارية هي التي تسبب فساد الأغذية المختلفة التي تحفظ بالتبريد في الثلاجات كما سبق أن أشرنا .

ورغم أن تجميد Freezing الأغذية يقلل كثيرا من حدوث التلف بالأحياء الدقيقة التي تتحمل البرودة (المحبة للبرودة الاختيارية) إلا أن بعض الأحياء الدقيقة تستطيع النمو في البيئات السائلة على درجات حرارة أقل من الصفر المئوي.

لذلك فإن الأغذية المجمدة تجمدا خفيفا والتي عادة ما تحتوى على جيوب سائلة تكون عرضة للتلف إذا ما خزنت لفترات زمنية طويلة. أما الأغذية التي تجمد تجمدا عميقا Deep freezing فتقل فيها الجيوب السائلة إلى حد كبير، ويكاد معدل نشاط الأحياء الدقيقة يتوقف تماما. ليس فقط بسبب قلة الجيوب السائلة ولكن أيضا بسبب انخفاض درجة الحرارة.

التأثير الحافظ للتجميد

إن التجميد لا يمكن استخدامه كوسيلة للتعقيم، ولكن كثيرا ما يلاحظ انخفاض أعداد الأحياء الدقيقة أثناء التجميد وخلال فترات التخزين المجمد الطويلة، وخاصة في التجميد البطيء Slow freezing أو عند تذبذب درجات الحرارة أثناء التخزين المجمد تذبذبا كبيرا.

وقد أدت الأبحاث العديدة التي أجريت لدراسة تأثير التجميد على الخلايا الحية إلى فهم الأحداث الجزئية التي تتم أثناء التجميد. فعندما تتعرض الخلايا الحية لدرجات حرارة التجميد فإن السيتوبلازم يتجمد بنفس سرعة الوسط المحيط، ولكن محتويات الخلية تتجمد بسرعة تعتمد على سرعة التجميد ومدى سرعة نفاذ أسطحها الخارجية للماء. فكلما كانت درجة الحرارة منخفضة كلما كان التجميد سريعا. وينتج عن ذلك تجمد قطيرات الماء الصغيرة الحجم لتكون بللورات ثلجية صغيرة في وقت متقارب، وبذلك لا تنمو البللورات في الحجم وتبقى ثابتة، وعند الصهر السريع لمثل هذه الخلايا فإن معظمها يستعيد نشاطها الخلوي.

أما في حالة التجميد على درجات حرارة مرتفعة نسبيا كما في حالة التجميد البطيء فإن الوسط المحيط يتجمد أولا ويصبح تركيز المـسـوـاد

الذائبة في خارج الخلايا مرتفعاً مسبباً انتقال الماء الخلوي الى خارج الخلية الى أن يحدث اتزان بين الضغط الأسموزي خارج وداخل الخلايا. وقد يؤدي ذلك الى تجفيف جزئي للخلايا ، وتعتبر بعض الخلايا حساسة لمثل هذا النوع من التجفيف . وباستمرار انخفاض حرارة مكونات الخلايا أثناء التجميد البطيء تتكون بللورات صغيرة تنمو في الحجم . ويؤدي نمو البللورات في التجميد البطيء الى تلف ميكانيكي لبعض مكونات الخلايا وخاصة الغشاء الخلوي والأنظمة الغشائية الأخرى في الخلية ، وربما للجزئيات الحيوية الكبيرة كما أن الجدر الخلوية (في الخلايا ذات الجدر الخلوية) تكون عرضة للتكسر نتيجة لنمو البللورات الثلجية أيضاً ، ويحدث هذا العيب الأخير في الأنسجة النباتية عند تجميدها تجميداً بطيئاً بكثرة مسبباً فقد الأنسجة النباتية لقوامها المميز وفقد العصير الخلوي بكثرة عند الانصهار . لذلك فإن التجميد البطيء أكثر فعالية في قتل الأحياء الدقيقة عن التجميد السريع ، وذلك نتيجة لنمو البللورات الثلجية في التجميد البطيء وهو العيب الذي لا يحدث في التجميد السريع ... الا أن البللورات الثلجية الصغيرة جداً التي تتكون في التجميد السريع قد تتعرض للنمو اذا كان التخزين المجمد يتم في مدى كبير من درجات الحرارة . فاذا كان منظم درجة الحرارة Thermostate في غرفة التجميد من النوع الرديء بحيث يسمح بمدى كبير من درجات الحرارة لفصل وإيصال دورة التبريد . فعندما ترتفع درجة حرارة التخزين المجمد أثناء انفصال دورة التبريد ينصهر جزء من البللورات الثلجية ، وعند اتصال دورة التبريد ثانية تبدأ هذه الكميات السائلة الصغيرة في التجميد على أسطح البللورات الموجودة مسببة نموها مما قد ينتج عنه عيوب نمو البللورات الثلجية . لذلك فإنه يلاحظ انخفاض أعداد الكائنات الدقيقة أثناء التخزين المجمد الطويل المدى .

استخدام التجميد لحفظ المزارع الميكروبية

ان التجميد يؤدي الى قتل نسبة من الخلايا خاصة اذا لم تراعى ظروف التجميد السريع والمحافظة على المزارع المجمدة في مدى صفيـ

من تذبذب درجات الحرارة صعودا وهبوطا نتيجة استعمال أجهزة تنظيم درجات الحرارة الجيدة .

فوق ذلك فانه كثيرا ما تضاف مواد مبللة Water-miscible مثل الجليسرول والداى ميثيل سلفوأكسيد Dimethyl sulfoxide بتركيز يصل الى نصف مولر كوسط لتعليق الأحياء الدقيقة . وهذه المواد تتخلل الخلايا وتقلل من التأثير التجفيفى للتجميد . كما تضاف مواد ذات وزن جزيئى كبير مثل البيومين السيرم Serum albumin والدكستريين والبوليفينايلىروليدون Polyvinylpyrrolidone بتركيز يصل الى 10^{-5} الى 10^{-3} مولر . وهذه المواد لا تدخل الى داخل الخلايا ، وربما يرجع فعلها الحافظ الى الارتباط بسطح الخلية مسببا حماية غشاء الخلية من التلف التجميدى .

والأهمية العملية لذلك تنحصر فى امكانية حفظ الخلايا الحساسة للتجميد باستخدام سائل التعليق المناسب .

البيئات الطبيعية ذات درجات الحرارة المرتفعة :

سبق أن ذكرنا أن الأحياء الدقيقة التى تنمو على درجات حرارة أعلى من 50°C تسمى " محبة للحرارة " Thermophiles ومثل تلك الدرجة من الحرارة توجد فى الطبيعة فى أماكن محدودة . فسطح التربة المعرض لضوء الشمس القوى فى منتصف النهار فى الصيف تسخن عادة لفوق الخمسين درجة مئوية ، وقد تصل درجة حرارة أنواع التربة القاتمة الى 70°C أو أكثر . وذلك رغم أن درجة الحرارة على بعد عدة بوصات تحست السطح تكون أقل كثيرا من ذلك . كما أن أكوام الدبال والسيلاج قد تصل درجة الحرارة فى داخلها من 60 الى 65°C ، وينابيع المياه الساخن التى قد تصل الى درجة الغليان ، ومصادر البخار الطبيعية Fumarols or steam vents ولكن أعلى درجات حرارة معروفة فى الطبيعة هى درجات حرارة فوهات البراكين الثائرة وقد تصل درجة حرارة الصخور Molten lava المتدفقة من البراكين الى أكثر من 1000°C . ولم يثبت حتى الآن وجود أى نوع من صور الحياة فى مثل هذه الصخور المنصهرة .

أما ينابيع الماء الساخن Hot springs فهي موجودة فسي
أماكن متعددة حول العالم وثبت وجود صور من الحياة الميكروبية بها .
وتتركز معظم الينابيع الساخنة في غرب الولايات المتحدة الأمريكية
ونيو زيلندا وإيسلندا واليابان ومنطقة حوض البحر المتوسط وأندونيسيا
 وأمريكا الوسطى . وأكبر تجمع للينابيع الساخنة في العالم يوجد في منتزه
الحجر الأصفر القومي Yellowstone National Park في ولاية وايومنغ
Wyoming الأمريكية ، ودرجة حرارة عدد من هذه الينابيع تختلف من
وقت لآخر ولكن بعض الينابيع لها درجة حرارة ثابتة على مدار السنين .
وتصل درجة حرارة عدد من هذه الينابيع إلى الغليان . وتبرد المياه
تدريجياً على طول مجرى الماء المناسب من ينبوع الساخن . وينتج
عن ذلك تدرج في درجة حرارة المياه من المصدر إلى أبعاد مختلفة
منه . وينمو على طول مجرى مياه مثل تلك الينابيع أنواع معينة من الأحياء
الدقيقة المحبة للحرارة Thermophiles كل في المدى المناسب
لنموه من درجات الحرارة . ومن دراسة أنواع الأحياء الدقيقة التي تنمو
في المجالات المختلفة من درجات الحرارة (جدول ١٢-٢) يمكن ببساطة
استخلاص ما يلي :

جدول ١٢-٢ : درجة الحرارة القصوى التقريبية للنمو للأحياء الدقيقة
المختلفة
Brock 1967. Science 158: 1012

الأحياء الدقيقة	درجة الحرارة القصوى للنمو التقريبية بالدرجة المئوية
الموتوزوا الطحالب ذات النواة الحقيقية الفطريات البكتيريا المثلة للنمو (بما في ذلك البكتيريا الخميرة المزرقة) البكتيريا	٤٥ - ٥٠ ٥٦ ٦٠ ٧٠ - ٧٢ ٩٩

(١) ان الأحياء الدقيقة ذات النواة البدائية - بصفة عامة -
تستطيع النمو على درجات حرارة أعلى من تلك التي تنمو عليها الأحياء
الدقيقة ذات النواة الحقيقية .

(٢) ان الأحياء الدقيقة غير المثلثة للضوء — بصفة عامة — تستطيع النمو على درجات حرارة أعلى من تلك التي تنمو عليها الأحياء الدقيقة المثلثة للضوء .

(٣) ان الأحياء الدقيقة ذات التركيب الأبسط تركيبا تستطيع النمو على درجات حرارة أعلى من الأحياء الدقيقة الأعقد تركيبا .

ولا يعنى ذلك أن جميع الأحياء الدقيقة التابعة لأي مجموعة من المجموعات السابقة تنمو على درجات الحرارة الأعلى أو الأقل ، فـما هذه القواعد الا استخلاصات عامة .

ولقد سبق أن ذكرنا أن الأحياء الدقيقة المحبة للحرارة المرتفعة هي تلك الأحياء التي تنمو على درجة حرارة أعلى من ٥٠°م . وفي الحقيقة ما هذا الا تعميم آخر ليسهل على الطالب استيعاب الموضوع . ولكن عادة ما يطلق لفظ " محبة للحرارة " على أحياء دقيقة تنمو على درجات حرارة أقل أو أكثر من ذلك ، فمثلا تعتبر الطحالب الخضراء التي تستطيع النمو على ٣٥°م كائنات حية دقيقة محبة للحرارة . وكذلك الحال بالنسبة للبروتوزوا التي تنمو فوق ٤٠°م (عادة بين ٤٠ - ٦٠°م) والفطريات والبكتيريا التي تنمو فوق ٥٥°م والسيانوبكتيريا التي تنمو فوق ٥٠°م (كما جاء في التعريف العام) .

والبكتيريا بصفة خاصة تستطيع النمو في مجال كبير من درجات الحرارة يتراوح من تحت نقطة تجمد الماء الى درجة غليانه . ولا يوجد نوع واحد من البكتيريا يمكنه النمو في هذا المجال كله ، ولكن عددا كبيرا من البكتيريا له مجال من درجات حرارة النمو يمتد الى حوالي ٣٠ - ٤٠°م وحتى البكتيريا المحبة للحرارة لها مجالات مختلفة من درجات حرارة النمو ، فبعضها له درجة حرارة مثلى للنمو ٥٥°م وبعضها ٧٠°م وأكثر من ذلك أيضا (٨٠°م) ففي ينابيع المياه الساخنة لدرجة الغليان يمكن دراسة البكتيريا التي تنمو على درجة الغليان بغمر شرائح مجهر Microscope slide في الماء الذي يغلي لعدة أيام ثم فحصها تحت المجهر ، فيلاحظ تكون مستعمرات مجهرية على سطح الشريحة .

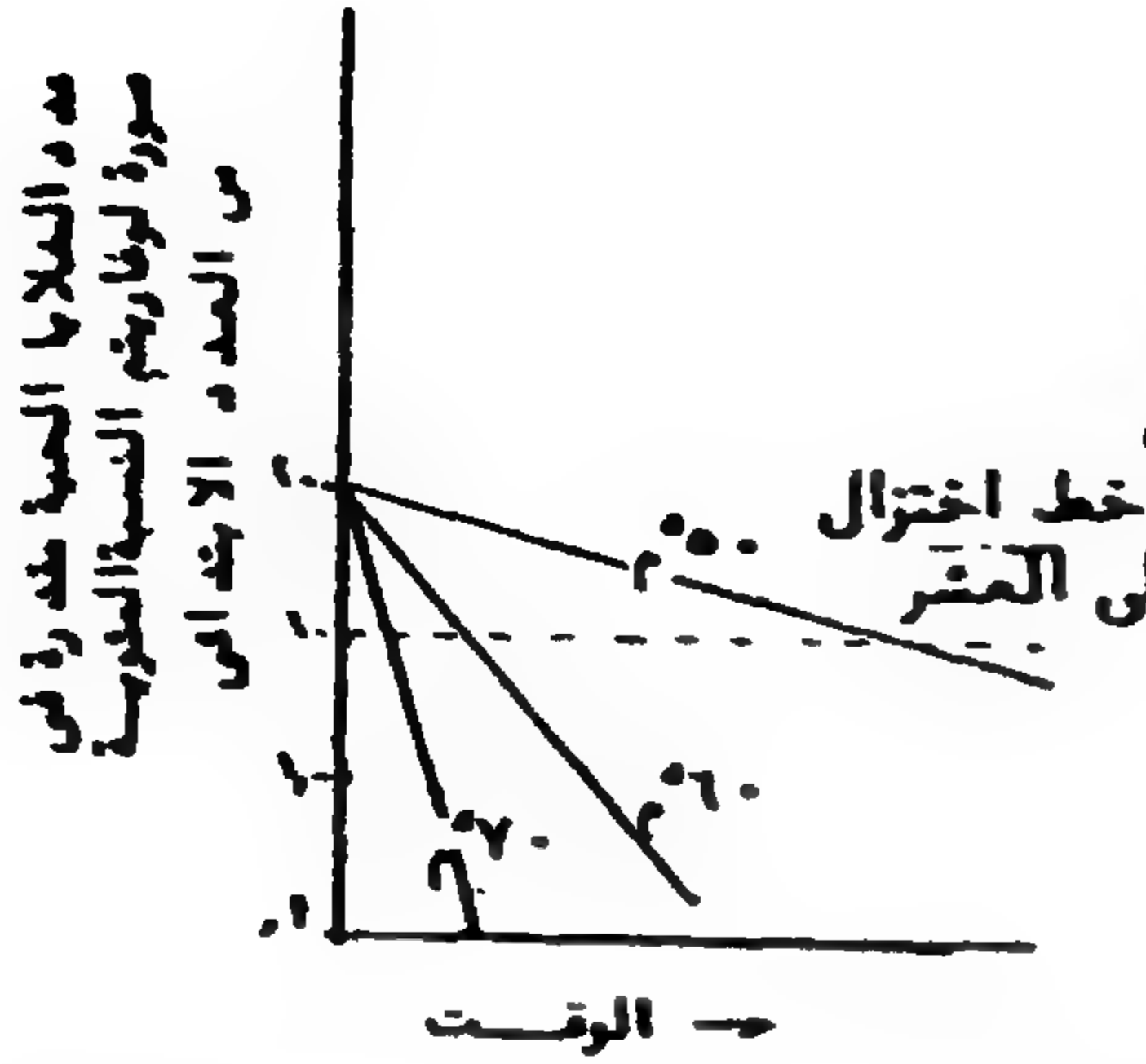
ومن المدهش حقاً أن البكتيريا التي تنمو في الينابيع الحارة تنمو بمعدلات نمو سريعة رغم ارتفاع درجة الحرارة (الوقت الجيلي من ٢ - ٧ ساعات) . ومعظم البكتيريا التي تنمو بين ٧٥ ، ٥٥ °م تتبع أجناس مختلفة مثل *Bacillus*, *Clostridium*, *Thermoactinomyces*, *Methanobacterium*

أما البكتيريا التي تنمو فوق ٧٥ °م فإن القليل منها قد تم زرعها في المختبرات ومنها أجناس *Thermus* و *Sulfolobus* وتوجد أنواع عديدة أخرى ولكنها لم تدرس.

وتوجد البكتيريا المحبة للحرارة في بعض الأماكن التي صنعها الإنسان مثل سخانات المياه المنزلية أو الصناعية . ولا يعرف كيف تنتقل هذه الأحياء إلى السخانات إلا أنه فيما يبدو أنها تنتقل خلال الهواء أو خلال أنظمة توزيع المياه . كما أنه من غير المعروف كيفية معيشة هذه الأحياء الدقيقة على هذه الدرجات العالية . ولكن المحتمل أن أنزيماتها ونظمها كلها مقاومة للحرارة العالية ، كما أنها أغشيتها الخلوية تكون مكونة أساساً من أحماض دهنية مشبعة وهي تكون روابط غير محبة للماء أكثر ثباتاً على درجات حرارة مرتفعة بعكس البكتيريا المحبة للبرودة الاجبارية والتي تتكون الأغشية فيها من أحماض دهنية غير مشبعة وهي أكثر ثباتاً على درجات الحرارة المنخفضة .

قتل الأحياء الدقيقة بواسطة الحرارة :

سبق الإشارة إلى أن ارتفاع درجة الحرارة عن درجة الحرارة المثلى للنمو يقلل معدل النمو حتى تصل إلى درجة الحرارة القصوى للنمو وهي أعلى درجة حرارة يحدث عندها نمو ، وإذا ارتفعت درجة الحرارة بعد ذلك يتوقف النمو ثم يبدأ التأثير القاتل للحرارة على الأحياء الدقيقة . وكلما ارتفعت درجة الحرارة كلما كان التأثير القاتل أشد . ويوضح الشكل (١٢-٤) تأثير درجات الحرارة المختلفة ٥٠ ، ٦٠ ، ٧٠ °م في قتل نسوع من الأحياء الدقيقة المحبة للحرارة المتوسطة *Mesophilic* . وقد ثبت أن تأثير الحرارة في القتل ذو طبيعة لوغاريتمية ، بمعنى أن تعريض أي

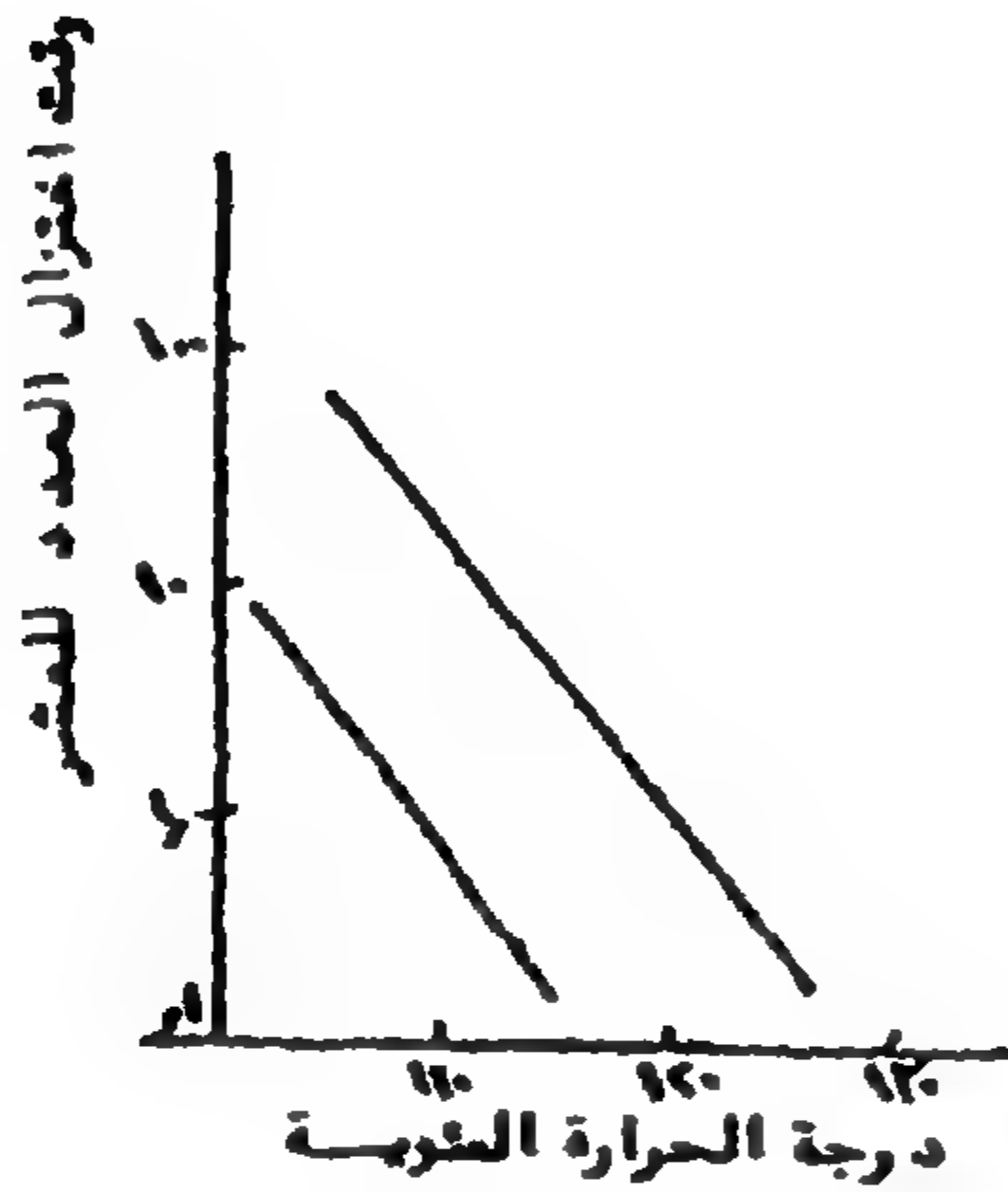


شكل ١٢-٤ : تأثير درجة الحرارة على حيوية البكتيريا المحبة للحرارة المتوسطة

عدد من الأحياء الدقيقة لدرجة حرارة مرتفعة يؤدي الى نقص هذا العدد بطريقة لوغاريتمية بمرور الوقت . ويزداد معدل هذا النقص كلما ارتفعت درجة الحرارة . لذلك فعند رسم العلاقة بين لوغاريتم عدد الأحياء الدقيقة المتبقية بعد أوقات مختلفة عند درجة حرارة معينة ، فأننا نحصل على خط مستقيم ، والوقت الذي يؤدي الى قتل ٩٠ % (أى الوقت الذي يؤدي الى خفض العدد الابتدائي الى ١٠ % منه) من عدد كائن حى معين عند درجة حرارة معينة يسمى " وقت اختزال العدد الى العشر Decimal reduction time " ويرمز له بالرمز (D) " وقت اختزال العدد الى العشر " ثابت لأي كائن حى دقيق وحيد الخلية ولا يعتمد على العدد الابتدائي للأحياء الدقيقة في بداية التجربة ، ف سواء كان العدد الابتدائي ١٠ مليون خلية أو ١٠٠ خلية فقط فان مرور " وقت اختزال العدد الى العشر " على درجة حرارة معينة يؤدي الى خفض العدد نفسى الحاليتين الى ١٠ % من العدد الابتدائي . ففي الحالة الأولى يؤدي مرور وقت اختزال العدد الى العشر الى قتل ٩٠ مليون خلية ، ويتبقى مليون خلية ، بينما في الحالة الثانية ينتج عن هذه المعاملة قتل ٩٠ خلية فقط ويتبقى ١٠ خلايا ، ويعنى ذلك أن التأثير القاتل للحرارة ليس تراكميا ، كما هو الحال في الأحياء متعددة الخلايا حيث يكون التأثير القاتل للحرارة تراكميا .

كما ثبت أيضا أن " وقت اختزال العدد للعشر " الكائن حى وحيدة الخلية ينقص بارتفاع درجة الحرارة وهذا مهم في عمليات تعقيم

الأغذية . فالعلاقة بين درجة الحرارة المستخدمة في التعقيم وقيمة D علاقة لوغاريتمية . ومعنى آخر فانه عند رسم العلاقتين لو D (Log D) ودرجة الحرارة فاننا نحصل على خط مستقيم (شكل ١٢-٥) ويمثل ميل الخط المتحصل عليه مدى حساسية الميكروب تحت الدراسة للحرارة تحت ظروف التجربة . ويمكن استخدام المنحنى لحساب الوقت اللازم للمعاملة الحرارية للأغذية المراد تعليبها في صناعة تعليب الأغذية .



شكل ١٢-٥ : العلاقة بين درجة الحرارة ومعدل القتل معبرا عنها بوقت اختزال العدد للعشر لنوعين من الأحياء الدقيقة .

تختلف الجراثيم الداخلية للبكتيريا في مقاومتها للحرارة عن الخلايا الخضرية فتقاوم بعض الجراثيم درجة حرارة ١٢١°م لمدة ٤ الى ٥ دقائق ، بينما لا تقاوم جراثيم بعض الأنواع الأخرى للبكتيريا أكثر من ٠ الى ٢ دقيقة . أما معظم الخلايا الخضرية فهي تقتل على درجة ٦٥°م لمدة ٠ الى ٥ دقائق .

ونظرا لأن تقدير قيمة D بدقة لأي ميكروب يستلزم بعض المجهود ، فقد ابتكرت طريقة أسهل لمعرفة مدى حساسية ميكروب معين للحرارة ، وذلك بتقدير الوقت اللازم لقتل جميع خلايا هذا الميكروب عند درجة حرارة معينة ، وسميت هذه الخاصية باسم وقت القتل الحراري Thermal Death Time وهو عبارة عن الوقت اللازم لقتل جميع الخلايا في معلق لميكروب ما عند درجة حرارة معينة . ويمكن تقدير هذا الأخير بسهولة بتسخين عينات من معلق ميكروب ما على نفس درجة الحرارة لفترات زمنية مختلفة ثم خلط هذه العينات بعد ذلك بوسط غذائي مناسب والتحضير

على درجة الحرارة المناسبة . فالمعاملة التي ماتت فيها جميع الخلايا لا يظهر بها أى نمو . ونظرا لأن وقت القتل الحرارى يعتمد على كثافة المعلق المستخدم فى التجربة فانه من الضرورى توحيد العدد المستخدم فى قياس وقت القتل الحرارى . وعند رسم العلاقة بين وقت القتل الحرارى ودرجة حرارة فانه يمكن الحصول على خطوط تشبه تلك الموضحة فى الشكل السابق (العلاقة بين D ودرجة الحرارة) وهذه العلاقة تعكس أيضا مدى حساسية ميكروب معين لدرجات الحرارة .

تؤثر طبيعة الوسط المستخدم لتعليق الخلايا عند تسخينها على الوقت اللازم لقتل الخلايا الخضرية أو حتى الجراثيم . فقتل الأحياء الدقيقة يكون أسرع فى الأوساط الحمضية عنه فى الأوساط المتعادلة . ولهذا السبب فان الأغذية الحمضية مثل منتجات الطماطم والفاكهة والمخللات تعقم أسهل من الأغذية المتعادلة مثل البسلة والفاصوليا واللحوم والأسماك وغيرها . كما أن التركيزات المرتفعة من السكريات والبروتينات والدهون عادة تزيد مقاومة الأحياء الدقيقة للحرارة . بينما تؤدي التركيزات المرتفعة من الملح الى زيادة أو نقص مقاومة الأحياء الدقيقة للحرارة وفقا لنوع الميكروب . كما أن الخلايا الجافة (والجراثيم) أكثر مقاومة للحرارة عن الخلايا الرطبة ، ولذلك فان تعقيم الأجسام الجافة بالحرارة الجافة يتطلب دائما درجات حرارة أعلى ولوقت أطول عنه للتعقيم بالحرارة الرطبة للمواد الرطبة .

وقد سبق وأن ذكرنا أن الجراثيم الداخلية للبكتيريا هي أكثر تركيبات الأحياء مقاومة للحرارة ، والمعتقد أن شدة المقاومة للحرارة ترتبط ارتباطا مباشرا بانخفاض نسبة الرطوبة فى هذه التركيبات الحية . فالمعروف أنه عند تكوين الجراثيم الداخلية يقل حجم البروتوبلازم الى أقل حد ممكن كنتيجة لتراكم الأيونات المعدنية مثل أيونات الكالسيوم وحمض السدائى بيكولينيك Dipicolinic acid (وهو يوجد فى الجراثيم الداخلية للبكتيريا فقط) ويتحول البروتوبلازم بذلك الى حالة جيلية سمكة ، وعند هذه المرحلة يبدأ تكون جدار الجرثومة Cortex التى تكون شديدة اللصمان عند الفحص بالمجهر .

وترجع شدة مقاومة الجراثيم للحرارة الى محتوى البروتوبلازم من الرطوبة ، فكلما قلت الرطوبة زادت مقاومة الجراثيم للحرارة ، ويمكن تغيير مدى مقاومة جراثيم نوع من البكتيريا للحرارة بتغيير محتواها من الرطوبة . فالرطوبة تتحرك بحرية الى داخل وخارج الجرثومة ولا يمنع جدار الجرثومة نفاذية الرطوبة ولكن مدى كثافة الحالة الجيلية gel-like structure للبروتوبلازم هو الذى يحدد مستوى الرطوبة فى الجراثيم ، كما أن جدار الجرثومة cortex المحكم على البروتوبلازم يتحكم فى عدم تشرب البروتوبلازم بالرطوبة . وعند اختفاء جدار الجرثومة cortex يختفى اللمعان ويبدأ البروتوبلازم فى التشرب بالرطوبة ، وتبدأ الجرثومة فى التحول الى الحالة الخضرية Germination .

البسترة والتعقيم :

البسترة هى استعمال معاملة حرارية خفيفة بهدف قتل الميكروبات المرضية وتقليل الميكروبات فى الأغذية كاللبن (الحليب) وعصائر الخضضر والفاكهة المختلفة . وقد سميت بهذا الاسم نسبة لابتكرها وهو العالم لوياس باستير الذى ابتكرها للتحكم فى تلف الخمر . ولا تعتبر البسترة تعقيما للأغذية حيث أنها لا تؤدى الى قتل كل الأحياء الدقيقة فى الأغذية . وعند ابتكار هذه المعاملة الحرارية فإنها كانت تهدف لقتل الميكروبات المرضية خصوصا تلك التى تسبب السل والبروسيللا والتيفود ، ولكن اكتشف أن هذه المعاملة الحرارية تؤدى أيضا الى زيادة قوة حفظ اللبن (الحليب) ، أما اليوم حيث تخضع معظم مزارع اللبن الى اشراف حكومى قوى فانه من النادر أن يتم الحصول على لبن ملوث بالميكروبات المرضية للأمراض المذكورة ، ومع ذلك فان البسترة مازالت شائعة ، وذلك لما تسببه من زيادة قوة حفظ اللبن (الحليب) .

بسترة الأغذية :

تتم عادة بامرار اللبن بطريقة مستمرة على مبادلات حرارية Heat

exchanger بحيث ترتفع درجة حرارة اللبن الى ٧١°م ، وتحتجز على هذه الدرجة أثناء مرورها لمدة ١٥ ثانية . ثم تبرد سريعا بعد ذلك ، وهذه الطريقة في البسترة تسمى الطريقة المستمرة Continuous Pasterization وهي أفضل من الطريقة الأصلية للبسترة والمسماة طريقة الدفعات ، وفي طريقة البسترة بالدفعات يسخن اللبن الى ٦٥ - ٦٦°م ، وتحتجز على هذه الدرجة لمدة ٣٠ دقيقة . والطريقة المستمرة أفضل من حيث أنها تناسب المصانع ذات الطاقة الانتاجية الكبيرة ، كما أنها تؤدي إلى تغييرات أقل في الطعم والرائحة .

التعقيم التجارى للأغذية :

يتم بمعاملة الأغذية بعد احكام غلقها داخل عبوات غير منفذة للأحياء الدقيقة على درجة حرارة كافية لقتل كل الأحياء الدقيقة المرضية والأحياء الدقيقة التي يمكن أن تسبب تلف الأغذية أثناء التخزين ، ولاجراء هذه العملية في الأغذية غير الحمضية (التي ليس لها $pH = ٥$) أو أعلى) يجب استخدام درجات حرارة أعلى من درجة غليان الماء (١٠٠°م) بما يحتم معه استخدام أجهزة تعقيم تحت ضغط ، وفي هذه الأجهزة عادة ما تستخدم الحرارة تحت ضغط يصل ١٠ كجم / سم^٢ (١٥ رطل / بوصة^٢) وهذه المعاملة تنتج درجة حرارة تصل ١٢١°م . وتستخدم كثير من ربات البيوت حلال الطبخ تحت ضغط Pressure Cooker لتعقيم بعض المنتجات المنزلية ، ولكن يجب الحذر ، إذ أن استعمال عبوات كبيرة أو أغذية ذات لزوجة عالية أو ذات تركيز سكر عالي وغيرها قد لا يتم تعقيمة تعقيما كاملا اذا عرضت لدرجة حرارة التعقيم للفترة الزمنية المعتادة ، وهي ١٠ الى ١٥ دقيقة .

ثانياً ، الماء ونشاط الماء

يعتبر الماء متطلباً أساسياً للحياة في جميع الكائنات على اختلافها ، وتختلف كمية الماء في مختلف البيئات . ولكن توفر الماء للأحياء لا يعتمد

على المحتوي المائي للبيئات المختلفة فقط بل أيضا يخضع لعوامل الامتزاز (الادمصاص Adsorption) والاذابة المختلفة والى أي مدى تكون قوة الامتزاز أو تركيز العناصر الذائبة والى قدرة الكائن على استخلاص هذا الماء رغما عن تلك العوامل المعقدة . أيضا فانه عند اذابة مادة ما (مذاب) فى الماء فان المادة المذابة تتأدرت ويتوقف مدى توفر الماء للأحيا، الدقيقة على درجة التأدرت . وهناك عدد من الطرق للتعبير عن مدى توفر الماء المتأثر بقوى الذوبان والامتزاز للأحيا، الدقيقة ، ولكن أحد أبسط الطرق المعروفة هى ما يعرف بنشاط الماء $Water\ activity$ ويرمز لنشاط الماء بالرمز a_w وهو ما يعبر عن ضغط بخار الماء فى الهواء أعلى محلول أو مادة ما ، ويمكن تقديره بقياس الرطوبة النسبية الناتجة عن البخر من هذا المحلول . ويمكن التعبير عن الرطوبة النسبية بالمعادلة التالية :

الرطوبة النسبية =

كمية بخار الماء فى حجم معين من الهواء عند درجة حرارة معينة .

كمية بخار الماء اللازمة لتشبيع نفس الحجم من الهواء عند نفس الظروف

ويعبر عن الرطوبة النسبية فى صورة نسبة مئوية ، أما نشاط الماء فيعبر عنه فى صورة كسر مئوى ، فمثلا اذا كانت الرطوبة النسبية = ٧٥ % فان نشاط الماء a_w يكون ٠.٧٥ .

ولتقدير نشاط الماء لمحلول أو مادة ما فانها توضع فى حيز مغلق وتترك حتى يحدث اتزان مع الهواء ، ويمكن قياس الرطوبة النسبية بعد ذلك بواسطة جهاز قياس الرطوبة النسبية . ومن ذلك يمكن بسهولة استنتاج أن نشاط الماء يكون أكثر ما يمكن فى حالة عدم وجود مواد مذابة به ، ويقل نشاط الماء كلما ارتفع تركيز المواد المذابة فيه . ولذلك فان نشاط الماء فى بيئات البحار والأنهار يكون مرتفعا نسبيا بينما ينخفض كثيرا فى البيئات ذات التركيز المرتفع من المواد المذابة كالعمل أو المعاصر المركزة .

نشاط الماء وتأثيره على نمو الأحياء الدقيقة :

عند انماء كائن حي دقيق في محلول له نشاط ماء منخفض نتيجة لوجود مادة مذابة فان هذا الكائن الحي عليه أن يبذل مجهودا اضافيا لاستخلاص الماء من ذلك المحلول وينتج عن هذا ببطء النمو وقلّة الناتج من الخلايا ، وتلاحظ هذه النتائج مع العديد من المواد المذابة التي تخفض نشاط الماء ، ولا يجب اغفال أن بعض المواد المذابة في حد ذاتها تكون ذات تأثير سام على الخلايا ، ولذلك فان مستبتين غذائيين لهما نفس درجة نشاط الماء قد يؤثران على النمو بدرجات مختلفة .

وكما سبق وذكرنا فان الضغط الأسموزي للسيتوبلازم في خلايا الأحياء الدقيقة يكون عادة مرتفعاً عن الوسط الخارجي بما يسمح باستمرار مرور الماء من الخارج الى الداخل ، ولكن اذا ارتفع الضغط الأسموزي خارج الخلايا الى درجة أعلى من الضغط الأسموزي داخل الخلايا فان الميكروب لا يمكنه أن ينمو الا بزيادة تركيز المواد المذابة داخل الخلية وتستطيع بعض الأحياء الدقيقة ذلك أفضل من البعض الآخر ، أو بمعنى آخر تستطيع أن تنمو في محاليل ذات درجات منخفضة لنشاط الماء . والجدول (١٢-٣) يبين الحدود التقريبية لنشاط الماء لبعض الأحياء الدقيقة ، ومنه يتضح أن بعض الفطريات والخمائر تنمو أفضل من غيرها من الأحياء على درجات منخفضة من نشاط الماء .

ورغم أن كثيرا من المراجع تعتقد بأن تأثير تركيز المواد الذائبة يرجع الى تأثيرها على الضغط الأسموزي ، الا أن الاتجاه السائد حاليا يشير بأن تأثير تركيز المواد الذائبة يرجع الى تأثيرها في خفض نشاط الماء ، ورغم أن زيادة الضغط الأسموزي قد ترجع لزيادة تركيز مادة مذابة (سواء ملح أو سكر) في الماء الا أنه قد جرى العرف بأن يستخدم تعبير " المحبة للضغط الأسموزي المرتفع " Osmophilic للأحياء المحبة للتركيزات المرتفعة من السكر كمادة رافعة للضغط الأسموزي ، ولا يستخدم هذا التعبير Osmophilic للأحياء الدقيقة المحبة

جدول ١٢-٣: الحد الأدنى التقريبي لنشاط الماء اللازم لنمو مجموعات الأحياء الدقيقة (عن براون ١٩٧٦)

Brown, A.D. Bacterial. Rev . 40:803 (1976)

نشاط الماء	البيئات السائلة	الأغذية	البكتيريا	الحماض	الفطريات	الطحالب ذات النواة الحقيقية
١	الدم	الخضروات	<u>Caulobacter sprillum</u> spp			
٩٥		الخمر	معظم البكتيريا الموجبة لجرام	الخمائر البازيدية	الفطريات البازيدية	معظم مجموعات الطحالب
٩٠	منتجات اللحوم المعالجة	معظم البكتيريا الكروية و <u>Bacillus lactobacillus</u>	الخمائر الأسكية <u>Sacch. rouxi</u> <u>Debaryomyces</u> في الأملاح	<u>Fusarium</u> <u>Mucor</u>		
٨٠	المرببات وكعكات الفاكهة		<u>Sacch. ballii</u> في السكريات	<u>Penicillium</u>		
٧٥	البحيرات المالحة	السمك المالح	<u>Halobacterium</u> <u>Halococcus</u>		<u>Walleria</u> <u>Aspergillus</u> <u>Chrysosporum</u>	<u>Dunaliella</u>
٧٠		الحلويات والفاكهة المجففة وبعض منتجات الحبوب				
٦٥					<u>Eurotium</u>	
٦٠				<u>Sacch. rouxi</u> في السكريات		

للتراكيزات العالية من الملح " وهو أيضا يسبب ارتفاع الضغط الأسموزي " ولكن يستخدم تعبير آخر وهو " الأحياء الدقيقة المحبة للتراكيزات العالية من الملح " Halophilic .

وربما يرجع ذلك الى أن تأثير الملح بالنسبة للأحياء الدقيقة المحبة للملح لا ينحصر فقط في زيادة الضغط الأسموزي للوسط الخارجى ، بل أن أيونات الصوديوم تلعب دورا هاما لثبات الجدار الخلوى وعدد من الانزيمات الخلوية ، كما فى جنس *Halobacterium* . وما يجذب الانتباه أن الضغط الأسموزي للسيتوبلازم فى هذه البكتيريا لا يرجع لآيونات الصوديوم (Na^+) ولكن لآيونات البوتاسيوم (K^+) والجسـدول (١٢-٤) يوضح النسبة بين كلا من تركيزات أيونات الصوديوم والبوتاسيوم داخل وخارج بعض خلايا البكتيريا عند تنميتها فى تركيزات مختلفة من أملاح هذه العناصر .

جدول ١٢-٤ : التركيز الداخلى لكلوريدات الصوديوم والبوتاسيوم فى بعض أنواع البكتيريا .

اسم البكتيريا		التركيز المئوى (وزن / حجم) خارج الخلايا		النسبة بين التركيز داخل وخارج الخلايا	
		KCl	NaCl	K^+	Na^+
غير المحبة للملح Non halophiles					
<i>Staphylococcus aureus</i> ستافيلو كوكاس أورياس		١٩	٠.٩	٢٧	٧
<i>Salmonella oranienburg</i> سالمونيلا أورينبورج		١٩	٠.٩	١٥	٩
المحبة للتركيزات المتوسطة من الملح Moderate halophiles					
<i>Micrococcus halo-denitrificans</i> ميكروكوكاس هالودينيتريفيكانز		٠.٢	٥.٩	١٢٠	٣
<i>Vibrio costicolus</i> فيبريو كوستيكولاس		٠.٢	٥.٩	٥٥	٧
المحبة للمحاليل المشبعة من الملح Extreme Halophiles					
<i>Sarcina morrhuae</i> سارسينا مورها		٢٤	٢٣	٦٤	٨
<i>Halobacterium salinarum</i> هالوبكتيريوم - البيناريم		٢٤	٢٣	١٤٠	٣

وقد جرى العرف على تقسيم الأحياء الدقيقة وفقا للضغط الأسموزى الذى تتحمله الى ثلاثة أقسام رئيسية هي :

١- أحياء دقيقة تتحمل الضغط الأسموزى المرتفع Osmotolerant :
تتحمل الضغط الأسموزى المرتفع ولكنها لا تتطلب له لنموها مثل
بعض الفطريات والخمائر .

٢- أحياء دقيقة تتطلب الضغط الأسموزى المرتفع Osmophilic
وهي لا تستطيع النمو عند ضغط أسموزى منخفض وتطلب ضغطا
أسموزيا مرتفعا لنموها ...

ومن أمثلة هذا القسم الفطر Xeromyces

٣- أحياء دقيقة عادية Normal :
وهي الأحياء الدقيقة التى لا تتطلب ولا تتحمل ضغطا أسموزيا
مرتفعاً .

الأهمية البيئية لنشاط الماء :

من المهم التمييز بين تأثير الجفاف على النشاط الميكروبى وتأثير
التجفيف على الحياة ، فبالرغم من كل النشاطات الميكروبية ستوقف عند
درجة نشاط الماء حوالى ٦٠ الى ٦٥ ٪ فان عددا كبيرا من الأحياء
الدقيقة تقاوم الجفاف ، فعادة الخلايا الصغيرة تقاوم الجفاف أكثر من
الخلايا الكبيرة .

والخلايا المستديرة (الكروية) تقاوم الجفاف أكثر من الخلايا العصوية
والخلايا ذات الجدر الخلوية السميكة (الموجبة لصبغة جرام) تقاوم
الجفاف أكثر من الخلايا ذات الجدار الخلوى الرقيق (السالبة لصبغة
جرام) وعلى سبيل المثال فان البكتيريا المسببة لمرض الزهري والمسماة
Treponema pallidum وهي بكتيريا طويلة ذات جدار رقيق وحساسة
جدا للجفاف لدرجة أنها تموت فور تعرضها للهواء ، ومن جهة أخرى
فان البكتيريا المسببة لمرض السل والمسماة Mycobacterium tuberculosis

تقاوم الجفاف مقاومة عظيمة نظرا لاحتوائها على غطاء سميك من الدهون مما يمنع جفافها بسهولة . كما أن الجراثيم (الأبواغ) الجنسية للطحالب والفطريات والأجسام الثمرية Cysts في البروتوزوا Protozoa تقاوم الجفاف أكثر من الخلايا الخضرية الناتجة عنها . ومقاومة الجفاف تطيل عمر الكائنات الحية الدقيقة التي تنتشر في الهواء . والخلية الجافة تكون كامنة من الوجهة الغذائية .

وتلك الخلايا الجافة اذا لم تتعرض للحرارة العالية أو أى ظروف بيئية أخرى فانها قد تظل كامنة لفترات زمنية طويلة ولكنها سرعان ما تستعيد نشاطها عند توفر الرطوبة اللازمة لانياتها .

ومن الوجهة البيئية فان البيئات الطبيعية ذات الضغط الأسوسى المرتفع تنحصر أساسا فى بيئات ذات تركيز ملح مرتفع .

البيئات الطبيعية ذات التركيز المرتفع من الملح :

يحتوي ماء البحر على حوالى ٣.٥% ملح الطعام NaCl (نشاط الماء = ٠.٩٨) مضافا اليه كميات صغيرة من عناصر وأملاح معدنية أخرى . والأحياء الدقيقة التي تعيش فى البحر تتطلب كلوريد الصوديوم لنموها عند تركيزات ماثلة لتلك الموجودة فى ماء البحر (بيئتها الطبيعية) ، ولكن نمو هذه الأحياء عادة ما يتأثر بارتفاع التركيز أو انخفاضه عن تركيز ماء البحر . والأحياء الدقيقة البحرية تتطلب بصفة خاصة أيون الصوديوم (Na^+) لثبات الغشاء الخلوي ولنشاط العديد من انزيماتها .

ولا يمكن احلال البوتاسيوم (K^+) أو أيونات أخرى شبيهة فى هذه الحالة بالصوديوم .

حيث أن خطوات صناعة ملح الطعام من ماء البحر تتضمن حجز ماء البحر فى أحواض كبيرة تسمى الملاحات وتترك فى ضوء الشمس لتبخير الماء . فان ملح كلوريد الصوديوم يتركز الى أن يصل الى حوالى ٢٥ %

قبل بدء تبلوره من المحاليل الملحية المشبعة وينمو في هذه الملاحات عادة أنواع من بكتيريا محبة للماء حمراء وبنفسجية مما يكسبها هذه الملاحات أحيانا ألوانا حمراء أو بنفسجية زاهية . كما ينمو في هذه الملاحات أيضا الطحالب المعروفة باسم Dunaliella saline .

وتنمو البكتيريا المحبة للملح أيضا على بعض منتجات الأغذية المملحة مثل الأسماك المملحة مكسبة إياها بقعا أو ألوانا حمراء أو بنفسجية . ويمكن تقسيم الأحياء الدقيقة وفقا لاحتياجاتها من كلوريد الصوديوم إلى :

(١) الأحياء الدقيقة المحبة للملح إجباريا - Obligate halophiles

وهي أحياء تتطلب ملح كلوريد الصوديوم لنموها ، حتى وإن لم يضاف ملح كلوريد الصوديوم في المستنبت بل تستمد الأحياء الدقيقة من المواد الأخرى في المستنبت ، فأيون الصوديوم وأيون الكلوريد شائعين في الطبيعة بكثرة ، ويندر أن يخلو منها مستنبت غذائي ، وهذه المجموعة من الأحياء يمكن تقسيمها إلى مجموعتين :

أ - المحبة للمحاليل المشبعة من الملح ، وهي الأحياء التي تتطلب إضافة ملح كلوريد الصوديوم لكي تنمو ، وهي لا تنمو إلا في محاليل مشبعة من هذا الملح NaCl

ب - الأحياء الدقيقة المحبة للتركيزات المتوسطة من الملح Moderate halophiles وهي الأحياء التي تتطلب الملح لنموها ولكنها لا تنمو في المحاليل المشبعة .

(٢) الأحياء الدقيقة غير المحبة للملح Non-halophiles

أشارت بعض المراجع لوجود مثل تلك الأحياء ، إلا أن تحضير مستنبتات تخلو من أيونات الصوديوم والكلوريد تماما تشكل صعوبة كبيرة لشيوع هذه الأيونات في الطبيعة بكثرة .

وما هو جدير بالذكر أن البكتيريا المحبة للمحاليل المشبعة من الملح من جنس Halobacterium وهي ذات لون أحمر نتيجة وجود صبغة Bacteriorhodopsin ذات اللون القرمزي والتي تستطيع تثبيت

الضوء وانتاج ATP بميكانيكية تختلف عن ميكانيكية التمثيل الضوئى رغم خلو هذه البكتيريا من الكلوروفيل . ورغم قدرة هذه البكتيريا على انتاج ATP من الضوء الا أنها لا تستطيع تحويل CO_2 الى مركبات عضوية كما يحدث فى التمثيل الضوئى ، فهذه البكتيريا غير ذاتية التغذية كيميائيا . ويعتقد أن قدرتها على انتاج الطاقة الكيميائية من الضوء ترجع الى أن بيئتها قد تخلو من الأكسجين أحيانا نتيجة وجود كميات كبيرة من الملح ذائبة فى الماء . وفى هذه الحالة فان القدرة على توليد طاقة من مصادر غير الأكسدة الهوائية بالأكسجين تصبح ضرورية .

Pressure

ثالثا : الضغط .

ويقصد به الضغط الواقع على الأجسام من البيئة المحيطية ، فالأحياء التى تعيش على سطح الأرض تتحمل ضغطا يماثل وزن عمود الهواء الواقع عليها ، وهو يعادل ١٤٧ رطل على البوصة المربعة ، ويسمى هذا بالضغط الجوى Atmospheric Pressure أما الأحياء التى تعيش على قمم الجبال العالية فيقع عليها ضغطا أقل من الضغط الجوى العادى . أما الأحياء التى تعيش فى قاع البحار والمحيطات فيقع عليها ضغوطا أخرى اضافية مساوية لارتفاع عمود الماء عند العمق الذى تعيش عنده ، وتسمى هذه الضغوط الواقعة على تلك الأحياء الدقيقة باسم الضغوط المائية Hydrostatic pressure . والأحياء التى تعيش عند عمق ١٠٠ متر تحت سطح البحر تتحمل ضغطا مائيا مساويا لعشرة ضغوط جوية تقريبا . وإذا عرفنا أن أعظم نقطة فى المحيط تقع فى شمال الباسيفيك شرق الفلبين يصل عمقها الى حوالى ١٠٨٦٠ متر ويعادل الضغط المائى عندها حوالى ١١٠٠ ضغط جوى عادى .

يتحمل عدد كبير من الأحياء الدقيقة التى عزلت من المياه العميقة ضغوطا مائية مرتفعة وان اختلفت درجات تحمل هذه الأحياء للضغوط المرتفعة . لذلك فانه يطلق على هذه الأحياء لفظ "أحياء تتحمل الضغط المائى العالى" Barotolerant أو أحياء اختيارية بالنسبة للضغط المائى Facultative barophilic ولا يمكن تسميتها " محبة

للضغط العالي Barophilic". ولقد بذلت عدة محاولات بأجهسزة حديثة يمكنها احضار عينات من قاع البحر تحت ضغط مائى مرتفع لمحاولة عزل "أحياء" محبة للضغط اجباريا Obligate barophilic وهى أحياء تنمو أفضل تحت الضغط المائى المرتفع . ولكن تلك المحاولات قد فشلت حتى الآن .

وتجب الاشارة الى أن معظم الأحياء الدقيقة المعزولة من التربة أو مياه سطحية تنمو أفضل ما يمكن تحت الضغط الجوى العادى مسع اختلافات بسيطة ارتفاعا وانخفاضا عن الضغط الجوى العادى . ولكنها تتوقف تماما عن النمو أو تموت عند ضغوط مائية تتراوح بين ٢٠٠ الى ٦٠٠ ضغط جوى ، فالضغوط المائية المرتفعة تؤثر على نشاط معظم الانزيمات وميكانيكية بناء البروتينات فى الخلية وقدرة الأغشية الخلوية على التحكم فى نفاذية المواد من وإلى الخلية ، وعند تنمية خلايا الأحياء الدقيقة المعزولة من المياه السطحية تحت ضغوط مرتفعة نوعا فان عددا كبيرا من الخلايا لا ينقسم ويستمر فى الاستطالة مكونا ما يشبه الخيوط .

واذا كانت الأحياء الدقيقة المحبة للضغط المائى المرتفع اجباريا Obligate barophiles لا توجد فى الطبيعة ، فان ذلك قد يفسر البطء الشديد لتحلل المواد العضوية فى قاع البحار . فالمعروف أن الأحياء الاختيارية للضغط المائى المرتفع Facultative barophiles تنمو أبطأ كثير فى قاع البحر عنه عند الضغط الجوى العادى . وقد يرجع ذلك لسببين : أحدهما الضغط المائى المرتفع فى قاع البحر والثانى هو انخفاض درجة الحرارة عند القاع ، إذ أن درجة الحرارة عند القاع تكون عادة حوالى ١°م . ولذلك فانه يمكن استنتاج أسباب البطء الشديد لتحليل المواد العضوية التى يتم التخلص منها فى البحار وترسب فى القاع ، رغم أنها تتحلل بسرعة أكبر عند السطح .

رابعاً : الحموضة ودرجة تركيز أيون الأيدروجين

يتم التعبير عن الحموضة والقلوية لمحلول ما بما يعرف بدرجة تركيز

أيون الأيدروجين أو رقم pH . وهو عبارة عن الأس السالب لتركيز أيون الأيدروجين في ذلك المحلول . وتركيز أيون الأيدروجين في الماء النقي 10^{-7} مولر . وعلى ذلك فإن رقم pH لهذا الماء هو ٧ وأرقام pH أقل من ٧ تمثل درجات من الحموضة بينما أرقام pH أكثر من ٧ تمثل درجات من القلوية . كما يجب تذكر أرقام pH هي في الحقيقة أرقام لوغاريتمية ... فعندما تكون pH لمحلول ما تساوي ٤ فإن ذلك يعني أن حموضة هذا المحلول تعادل عشرة أضعاف حموضة محلول ذو رقم pH يساوي ٥ وتختلف أرقام pH في البيئات الطبيعية اختلافا كبيرا ، ويوضح الجدول رقم (١٢-٥) بعض أمثلة لأرقام pH في المواد المختلفة .

جدول ١٢-٥ : أمثلة لدرجات pH وما يقابله من درجة تركيز أيون الهيدروجين لبعض البيئات المختلفة .

أمثلة	pH	تركيز أيون الهيدروجين جم / لتر	
	صفر	١٠ - صفر	
١ العصارة المعدية . التربة والعياء البراني .	١	١٠ - ١	
٢ عصير الليمون .	٢	١٠ - ٢	
٣ الحل . الربارب . الحوج .	٣	١٠ - ٣	
٤ بعض أنواع التربة الحمضية . الطماطم والمخللات وكثير من الفاكهة .	٤	١٠ - ٤	
٥ الجبن .	٥	١٠ - ٥	
٦ الهسلة . الذرة . الأسماك والحمير (الروبيان) .	٦	١٠ - ٦	
٧ ماء مطر نقي	٧	١٠ - ٧	
٨ ماء البحر .	٨	١٠ - ٨	
٩ بعض أنواع التربة شديدة القلوية . .	٩	١٠ - ٩	
١٠ بعض المحمرات القلوية . محاليل التنظيف .	١٠	١٠ - ١٠	
١١ محاليل تنظيف الزجاج (الأمونيا) .	١١	١٠ - ١١	
١٢ محاليل الحبر المعبئة	١٢	١٠ - ١٢	
١٣	١٣	١٠ - ١٣	
١٤	١٤	١٠ - ١٤	

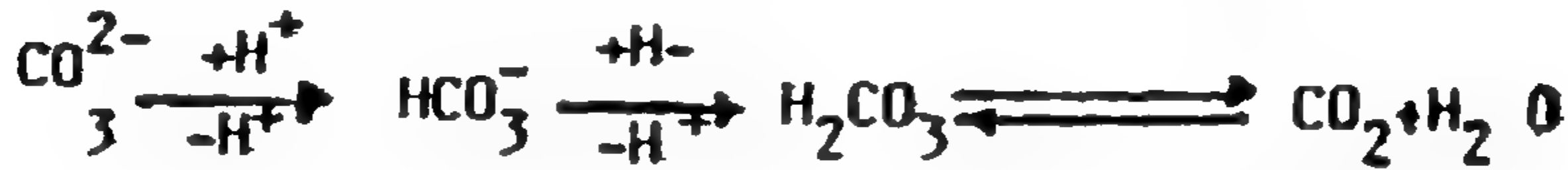
ولما كان من المرغوب فيه الاحتفاظ بثبات رقم pH للمسـزراع الميكروبية قدر الامكان فان المزارع الميكروبية كثيرا ما تجضر باستخدام ما يعرف بمنظمات $Buffers$ تركيز أيون الأيدروجين ، وتتركب هذه المنظمات من مخلوط من حمض ضعيف ، وملحه أو قاعدة ضعيفة وملحها . ومثل هذه المخاليط تنتج أيون أيدروجين اذا سحبت أيونات الأيدروجين من الوسط أو تسحب أيونات الأيدروجين اذا أنتجت أيونات الأيدروجين في الوسط ، وبذلك يظل تركيز أيون الأيدروجين في الوسط دون تغييرات جوهرية . توجد محاليل منظمة عديدة مختلفة كل منها لها القدرة على الاحتفاظ برقم pH في مجال معين . فمثلا في مجال pH من ٦ الى ٨ تعتبر منظم الفوسفات من أحسن المنظمات ، وهو يستعمل بكثرة في المزارع الميكروبية . أما في الأوساط الحمضية الضعيفة فيستعمل منظم السترات أما في الجانب القاعدي فيستخدم منظم البورات أو منظم الجلایسین . وفي حالة عدم استعمال منظمات لأي سبب فانه من الضروري اضافة كميات صغيرة من حمض أو قلوي على فترات أثناء نمو المزرعة الميكروبية .

أكثر ميكروب مدى معين من أرقام pH يستطيع أن ينمو فيه ، بمعنى أنه لكل ميكروب حد أعلى وحد أدنى للنمو من أرقام pH كما يوجد حد أمثل للنمو من أرقام pH . ومعظم البيئات الطبيعية لها رقم pH يتراوح بين ٥ ، ٩ ، ولذلك فمعظم الأحياء الدقيقة في الطبيعة تنمو في هذا المجال من أرقام pH مع وجود أعداد أقل من الأحياء الدقيقة تنمو خارج هذا المجال . وقد وجدت أحياء دقيقة تستطيع النمو في بيئات حامضية يصل رقم pH لها الى أقل من واحد .

ولكن بعض الأحياء الدقيقة تستطيع تحمل أرقام pH منخفضة ، ولكنها عادة تنمو عند أرقام pH المتعادلة أو القريبة من التعادل ، وتسمى في هذه الحالة بالأحياء الدقيقة التي تتحمل الحموضة - Facultative active acidophiles مثل بعض الخمائر والفطريات ، أما تلك الأحياء التي تتطلب أرقام pH منخفضة لكي تنمو فهي تسمى أحياء دقيقة محبة للحموضة اجبارية Obligate acidophiles مثل بعض أنواع بكتيريا

*Sulfolobus ، Thermoplasma ، Thiobacillus

وعندما تنتج مزرعة من المزارع كميات كبيرة من الحموضة فإن المحاليل المنظمة قد لا يكون كافيا للاحتفاظ برقم pH بدون تغيير . وفي مثل تلك الحالات قد يضاف للمزرعة كمية من الكربونات غير الذائبة مثل كربونات الكالسيوم والتي تمثل حينئذ "مخزنا قلويا" لاستيعاب كميات الحموضة التي ستنتجها المزرعة . كما تستخدم المزارع المحتوية على كربونات لعزل الميكروبات المنتجة للأحماض ، فالمستتبت المعقم المحتوي على الكربونات غير الذائبة يكون لونه أبيض ، وعندما ينمو عليه ميكروبا منتجا للأحماض فإن الحمض الناتج يتفاعل من الكربونات غير الذائبة (المترسبة) CO_3^{2-} محولا اياها الى بيكربونات HCO_3^- ثم الى حمض كربونيك H_2CO_3 الذي يتحلل مباشرة الى غاز ثاني أكسيد الكربون CO_2 وما ، وفقا للمعادلة التالية :



خامسا : الأكسجين

يحتوى الهواء الجوى على ٢٠ ٪ أكسجين ، وعند واحد ضغط جوى فان الأكسجين يشكل ٢ ضغط جوى من ضغط الهواء ، وتعتمد حياة الكثير من الأحياء على الأكسجين . وعلى ذلك فان استجابة الأحياء الدقيقة للهواء تختلف اختلافا كبيرا ، ويمكن تقسيم الأحياء الدقيقة بالنسبة لاحتياجاتها من الأكسجين الى أربعة مجموعات رئيسية :

١ - هوائية اجبارية : Obligate aerobes

وهى أحياء دقيقة تنفس تنفس هوائى ، ويعتبر الأكسجين أساسيا لحياتها ... ومعظم أفرادها تتطلب الأكسجين بتركيزه العادى فى الهواء الجوى ، الا أن بعض أفراد الميكروبات الهوائية الاجبارية تتطلب تركيزا منخفضا من الأكسجين تسمى Microaerophiles ولا يمكنها أن تحيا بدون الأكسجين تماما .

٢- لاهوائية اختيارية : facultative anaerobes

وهي أحياء دقيقة تنفس هوائيا في وجود الأكسجين، ولا هوائيا في عدم وجود الأكسجين .

٣- لاهوائية تتحمل وجود الهواء : Aerotolerant anaerobes

وهي أحياء دقيقة تنفس لا هوائيا فقط ولكنها لا تتوقف عن النمو في وجود الأكسجين ، بل تستمر في النمو اللاهوائي .

٤- لاهوائية اجبارية : Obligate anaerobes

وهي أحياء دقيقة تنفس لا هوائيا فقط ولا يمكنها أن تحيا في وجود الأوكسجين . وترجع سمية الأكسجين الى قدرته العالية على التفاعل ، فكل البكتيريا تقريبا تحتوى على انزيمات قابلة للتفاعل مع الأكسجين ، ويختلف عدد ونوع تلك الانزيمات القابلة للتفاعل مع الأكسجين فعلى سبيل المثال تتأكسد الفلافو - بروتينات Flavoproteins بالأكسجين ، وتنتج مواد سامة وفوق أكسيد الأيدروجين H_2O_2 وكذلك بعض فوق الأكاسيد Superoxide (O_2^-) .

ولكن في الأحياء الدقيقة الهوائية الاجبارية واللاهوائية والتسمى تتحمل وجود الهواء يتم التخلص من فوق الأكاسيد بواسطة انزيم ديسموتيز Superoxide dismutase لانتاج أكسجين وفوق أكسيد الأيدروجين ... ومن المعادلة التالية :



وكل هذه الكائنات تتخلص من فوق أكسيد الأيدروجين بواسطة انزيم الكاتاليز Catalaze وفق المعادلة الآتية :



أما بكتيريا حمض اللاكتيك وهي بكتيريا لا هوائية تتحمل وجود الهوائي Aerotolerant anaerobe فهي لا تحتوى على انزيم الكاتاليز ولكنها تتخلص من فوق أكسيد الأيدروجين بواسطة انزيم بيروكسيداز Peroxidase والذي يقوم بأكسدة المواد العضوية بواسطة فوق أكسيد الأيدروجين وفق المعادلة التالية :



وقد ثبت أن جميع البكتيريا اللاهوائية الاجبارية لا تحتوى انزيم الديسميوتيزولا انزيم الكاتاليز بما يجعلها حساسة لوجود الأكسجين .

وعندما استنبطت سلالة من بكتيريا القولون *E.coli* لا تنتج انزيم الديسميوتيز فان هذه السلالة تحولت من بكتيريا لاهوائية اختيارية الى لا هوائية اجبارية . وقد اتضح أيضا أن عددا من انزيمات البكتيريا اللاهوائية الاجبارية تكون حساسة لوجود الأكسجين ... وعلى سبيل المثال فان انزيم النيتروجيناز Nitrogenase (وهو أحد الانزيمات المسئولة عن تثبيت النيتروجين) يكون حساسا جدا لوجود الأكسجين .

وتستطيع بكتيريا Pseudomonas التي تؤكسد المركبات الحلقية والأليفاتية - الاستعاضة عن الأكسجين (في أكسدة هذه المركبات العضوية تحت ظروف لا هوائية) بالنترات NO_3^- محولة اياها الى النيتروجين ، لذلك تسمى هذه البكتيريا باسم البكتيريا نازعة النترات - Denitrifying bacteria.

ويمكن التحكم في نمو كثير من الأحياء الدقيقة بالتحكم في الأكسجين . ففي صناعة تعليب الأغذية تتم عملية التعقيم التجارى والذي لا يؤدي الى قتل سائر الأحياء الدقيقة في الأغذية المعلبة ولكن التعقيم التجارى يجب أن يقتل كل الأحياء الدقيقة اللاهوائية اجباريا واختياريا ، ومعظم الأحياء الدقيقة الهوائية اجباريا . وكثيرا ما يتبقى بالأغذية المعاملة بالتعقيم التجارى عدد من الأحياء الدقيقة الهوائية اجباريا ولكن مثل تلك الأحياء

الدقيقة المتبقية لا يمكنها النمو نظرا للظروف اللاهوائية في العلب بعد المعاملة الحرارية ، وبذلك لا يمكن أن ينتج عنها تلف للأغذية المعلبة الا اذا كانت عملية التعليب غير سليمة . كما أن كثيرا من الأغذية تعبأ تحت تفريغ أو في وجود غاز خامل مثل غاز النيتروجين أو غيره من الغازات بهدف استبعاد الأكسجين أيضا . كما يلجأ بعض مصنعو الأغذية الى ضرورة ملء العبوات حتى الغطاء لاستبعاد أى قدر من الهواء داخل العلبة . وقد يلجأ أحيانا لوضع طبقة من الشمع أو الزيت فوق الأغذية التى يمكن أن تكون هدفا للغزو بالميكروبات الهوائية .

أما فى المختبرات فقد تستخدم اضافة طبقة الشمع فوق المستنبت لتحويل الظروف الى ظروف لا هوائية . وقد تضاف كيميائيات تعمل على امتصاص الأكسجين من جو وعاء المزرعة البكتيرية . كما قد يتم تلقيح المزارع البكتيرية اللاهوائية اجباريا فى جو من غاز خامل وغير ذلك من الطرق .

سادساً : الإشعاع :

تتطلب بعض الأحياء الدقيقة وجود الضوء المرئى لى تنمو وتتكاثر مستعملة الطاقة الضوئية ومحولة اياها الى طاقة كيميائية عن طريق التمثيل الضوئى Photosynthesis وتحتوى البكتيريا والبكتيريا الخضراء المزرقة التى تمثل الضوء على صبغات مختلفة أهمها الصبغات الخضراء التى تشبه الكلوروفيل النباتى . وتسمى هذه الصبغات باسم الكلوروفيل البكتيرى ، ويوجد منه عدة أنواع مختلفة . بينما تحتوى بعض البكتيريا المحبسة للتركيزات المرتفعة من الملح مثل بكتيريا Halobacterium على صبغة قرمزية بكتيريوروديسين Bacteriorhodopsin (وهى تشبه صبغة الرودوسين Rhodopsin التى توجد فى عيون الحيوانات) . وهذه الصبغة أيضا قادرة على امتصاص الضوء وانتاج مركبات كيميائية غنية فى الطاقة كما سبق أن أشرنا عند مناقشة تأثير الضغط الأسموزى على نمو الأحياء الدقيقة .

وقد أشرنا فى جزء سابق عند مناقشة طرق التعقيم استعمال الاشعاع فى قتل الأحياء الدقيقة .

سابعاً، العوامل الكيميائية :

تتأثر الميكروبات المختلفة بعوامل كيميائية مختلفة . وتختلف درجة التأثير على حسب نوع المادة الكيميائية ودرجة تركيزها والفترة الزمنية التي يتعرض لها الكائن الحي الدقيق ودرجة الحرارة ورقم pH ووجود مسواد أخرى عند المعاملة بالعامل الكيميائي . وكذلك يتوقف تأثير المسادة الكيميائية على عدد ونوع الأحياء الدقيقة وغيرها من العوامل . ولا بد من الإشارة الى أن نمو ونشاط الأحياء الدقيقة يتأثر ليس فقط بمدى توفر العناصر الغذائية المختلفة التي سبق الإشارة اليها في تغذية الأحياء الدقيقة ، بل ان نشاط ونمو الأحياء الدقيقة المختلفة يتأثر بتركيز كل عنصر من تلك العناصر . فالماء (الرطوبة) في الوسط الغذائي هي عنصر غذائي هام لكل الأحياء الدقيقة ، وعدم وجود الرطوبة بنسب كافية في الوسط الغذائي ينتج عنه عدم نمو الأحياء الدقيقة . وتستخدم هذه الوسيلة لحفظ كثير من الأغذية . فتجفف الأغذية تجفيفاً شمسياً أو تجفيفاً صناعياً بهدف إزالة هذا العنصر الغذائي الهام ، وبذلك يمنع نمو الأحياء الدقيقة على الأغذية المجففة ، ويمكن حفظها حتى دون تبريدها أو تعقيمها .

وكمثال آخر على أهمية تركيز العناصر الغذائية على نمو ونشاط الأحياء الدقيقة فان السكر يعتبر مصدر كربون وطاقة للعديد من الأحياء الدقيقة . ووجود السكر بتركيزات منخفضة (في وجود سائر العناصر الغذائية الأخرى) ينتج عنه نمو الكثير من الأحياء الدقيقة ، ولكن زيادة تركيز السكر يؤدي الى تقليل نشاط أو منع نمو أحياء دقيقة معينة وتشجيع نشاط أحياء أخرى على النمو . وعندما يصل تركيز السكر الى ٧٠٪ يتوقف نشاط جميع الأحياء الدقيقة . ويستخدم هذا الأساس في إنتاج المربا وغيرها من الأغذية التي تحفظ بالنسبة العالية من السكر . والمرببات التي تحتوي على هذه النسبة من السكر وتعبأ بطريقة جيدة يمكن حفظها على درجة حرارة الغرفة دون الخوف من نشاط الأحياء الدقيقة عليها .

وبالمثل يمكن الإشارة الى الملح ، فالمعروف أن الأحياء الدقيقة المختلفة تتحمل تركيزات مختلفة من الملح . ويستخدم هذا الأساس كثير

من الصناعات فيتم التحكم في نشاط أحياء دقيقة معينة بواسطة تركيزات مختلفة من الملح . ففي صناعة بعض منتجات الألبان مثل الجبن أو منتجات اللحوم كالسجق Susage أو المخلات تستخدم نسب مختلفة من الملح تسمح بنشاط بعض الأحياء الدقيقة دون غيرها ، وذلك للحصول على منتجات معينة ، كما يستخدم التملح الجاف (كما في بعض منتجات اللحوم والأسماك) بهدف إيقاف نشاط الأحياء الدقيقة تماما .

كما انه يمكن التحكم في نمو ونشاط الأحياء الدقيقة بالتحكم في تركيز مصدر أى عنصر من العناصر الغذائية اللازمة للأحياء الدقيقة مثل الكربون أو النيتروجين أو الفوسفور أو الكبريت أو غيرها من العناصر الغذائية المختلفة . ويستخدم هذا الأساس في التعرف على كثير من الأحياء الدقيقة كالبكتيريا والخمائر وغيرها بتوفير مصدر كربوني واحد أو مصدر نيتروجيني واحد فقط للكائن الحي المراد التعرف عليه ودراسة امكانية استخدام هذا المصدر بواسطة الكائن الحي ومنها يتم التعرف عليه .

واذا أمكن التحكم في نشاط ونمو الأحياء الدقيقة بواسطة العناصر الغذائية وتركيزاتها . فانه يمكن أيضا التحكم في نشاط ونمو الأحياء الدقيقة بواسطة الكثير من المواد المضادة لنشاط الأحياء الدقيقة Antimicrobial agents أو شبيهات عوامل النمو Growth-factor analogs

المواد المضادة لنشاط ونمو الأحياء الدقيقة

Antimicrobial agents

وهي عبارة عن مواد كيميائية تقتل أو تثبط نشاط ونمو الأحياء الدقيقة ، وهذه المواد قد تكون طبيعية أو منتجات صناعية . والمواد الطبيعية ذات القوة المضادة للأحياء الدقيقة تسمى مضادات حيوية . ويتم انتاج مضادات حيوية عديدة بواسطة العديد من الأحياء الدقيقة .

أما المنتجات الصناعية ذات القوة المضادة للأحياء الدقيقة فانها تسمى وفقا لفعالها ضد الأحياء الدقيقة ، فهذه المنتجات الصناعية إما أن تكون مثبطة فقط لنشاط الأحياء الدقيقة دون قتلها Germistatic agents والمواد المثبطة لنشاط الأحياء الدقيقة تنتهى بالمقطع Static = ، فمثلا

تسمى مثبطات البكتيريا Bacteriostatic agents وتسمى مثبطات الفطريات Fungistatic وتسمى مثبطات الطحالب Algistatic والمواد ذات التأثير المثبط لجميع أنواع الأحياء الدقيقة تسمى Germistatic . أما المواد التي تقتل الأحياء الدقيقة فتسمى Germicides أو Germicidal agents ، والمبيدات تنتهى دائما بالمقطع Cidal — وإذا كانت هذه المبيدات متخصصة لأحد أقسام الأحياء الدقيقة فتسمى باسمها ، فمبيدات البكتيريا تعرف باسم Bactericidal agents أو Bactericides ومبيدات الفطريات تسمى Fungicidal agents أو Fungicides ومبيدات الطحالب Algicides أو Algicidal agents وهكذا .. وإذا كانت المادة المبيدة ذات تأثير واسع وتقتل جميع الأحياء الدقيقة فتسمى Germicides . وقد تقسم المواد المبيدة للأحياء الدقيقة Germicides وفقا لتأثيرها على الجلد والأغشية المخاطية فتقسم الى :

مواد مطهرة للجلد : Antiseptics

وهي مواد قاتلة للأحياء الدقيقة ومأمونة الاستعمال لتطهير الجلد والأغشية المخاطية رغم أنها قد لا تكون مأمونة لتعاطيها داخلية ، وتستخدم لتطهير الجلد والجروح والأغشية المخاطية .

مواد مطهرة للأسطح : Disinfectants

وهي مواد قاتلة للأحياء الدقيقة وليست مأمونة الاستعمال مع الجلد أو الأغشية المخاطية أو الأنسجة الحية ، ويقتصر استعمالها على تعقيم الطاولات والأرضيات والترايبيزات والأطباق وغيرها .

وقد يكون تقسيم المواد المضادة للأحياء الدقيقة الى مبيدات ومثبطات تقسيم تقريبي أحيانا وذلك لأن بعض المواد قد تكون مبيدة عند تركيز مرتفع وتكون مواد مثبطة عند تركيز منخفض .

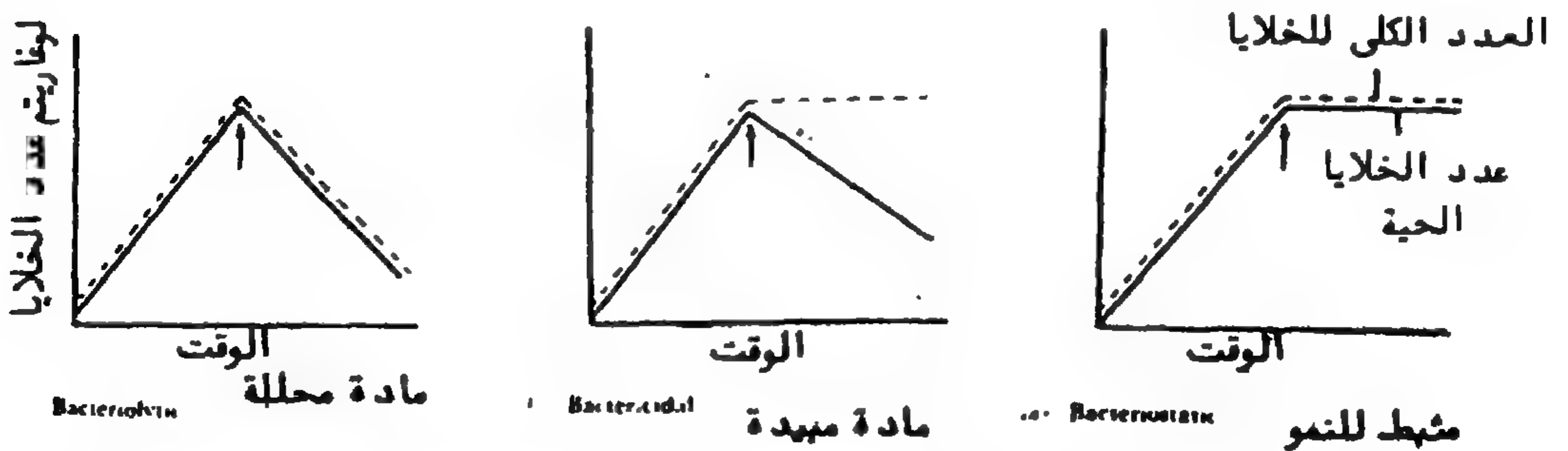
ويجب تواجد المادة المثبطة باستمرار لاستمرار فعلها في التشبيط ، إذا زال المادة المثبطة يسمح بنمو الأحياء الدقيقة . أما المواد المبيدة

فهى تؤدي الى قتل الأحياء الدقيقة ، فاذا أزيلت المادة المبيدة بعض ذلك دون إعادة التلوث فان الأحياء الدقيقة لا تنمو . ومعظم المواد الكيميائية التى تستخدم لحفظ الأغذية ذات تأثير مثبط Static للأحياء الدقيقة ، ويجب استمرار تواجدها بالغذاء والا تعرض الغذاء للتلف ، لذلك يجب أن تكون هذه المواد الحافظة غير سامة للإنسان . كما أن بعض المواد الكيميائية التى تستعمل لعلاج بعض الأمراض الناتجة عن ميكروبات هى من نوع المواد المثبطة أيضا ، ويجب استمرار تواجدها بالجسم حتى تبدأ أجهزة الدفاع فى الجسم فى مكافحة تلك الأحياء الدقيقة . ويجب أن تكون مثل تلك الكيميائية غير سامة للجسم أيضا ...

ومن المميزات الهامة لعدد من المواد ذات القوة المضادة للأحياء الدقيقة هو سميتها للاختيارية . بمعنى أن تكون تلك المواد مؤثرة على ميكروب معين يسبب مرضا لنبات أو حيوان أو إنسان دون أن تؤثر هذه المواد على العائل نفسه أو أنسجته . ومثل تلك المواد تكون ذات أهمية طبية لعلاج المرض الناتج عن هذا الميكروب ، كما أن بعض المواد المضادة للأحياء الدقيقة تكون فعالة على ذوات النواة البدائية دون أى تأثير على ذوات النواة الحقيقية ، وهذه مهمة طبية فى معالجة الأمراض التى تسببها البكتيريا . كما أن بعض المبيدات تكون فعالة على ذوات النواة الحقيقية (طحالب - فطريات - بروتوزوا) دون تأثير على خلايا الإنسان والحيوان (وهى أيضا من ذوات النواة الحقيقية) وهذه الكيميائية أيضا تعتبر هامة من الناحية الطبية . والكثير من المواد المضادة للأحياء الدقيقة تؤثر على نشاط خلايا الإنسان والحيوان . وتلك أهميتها قليلة فى علاج الأمراض ، أما تلك المواد التى تهاجم الأحياء الدقيقة دون التأثير على خلايا الإنسان تسمى المواد الكيميائية العلاجية أو الأدوية Chemotherapeutic agents .

ويمكن معرفة ما اذا كانت مادة كيميائية مضادة للأحياء الدقيقة ذو تأثير مثبط أو مبيد أو محلل للبكتيريا Bacteriolytic بإضافة المادة المراد اختبارها الى مزرعة نامية فى مرحلة النمو اللوغاريتمى Exponential Phase ثم ملاحظة ما يطرأ على المزرعة من تغيير

بالنسبة للعدد الكلى للبكتيريا ولعدد الخلايا الحية (ويمكن قياس العدد الكلى للبكتيريا بالعد المباشر بالمجهر أو بقياس درجة التعكير Turbidity أو الامتصاص الضوئى Absorbancy . أما عد الخلايا الحية فيلزم معه تخفيف المزرعة لدرجة كبيرة بحيث يكون تركيز المادة المضادة بعد التخفيف غير مانع لنمو الخلايا المفردة لتكوين مستعمرات على الأطباق ، وأما ضرورة إزالة المادة المضادة للبكتيريا أما بالطرد المركزى أو بالترشيح خلال مرشحات البكتيريا ثم إعادة تعليق الخلايا فى حجم مساو للمحلول قبل بدء عد الخلايا الحية) . فإذا كانت المادة المضادة للأحياء الدقيقة من النوع المشبط للبكتيريا فانه عند اضافة هذه المادة يثبت العدد الكلى وعدد الخلايا الحية مباشرة بعد اضافة المادة المضادة للأحياء الدقيقة . أما اذا كانت المادة المضادة للأحياء الدقيقة من النوع المبيد فان العدد الكلى يثبت ، بينما تنخفض عدد الخلايا الحية انخفاضا واضحا بعد اضافة المادة المضادة للأحياء الدقيقة .



شكل ١٢-٦ : التأثيرات المختلفة للمواد المضادة للأحياء الدقيقة ...

- أ - مادة مثبطة للأحياء الدقيقة حيث يثبت العدد الكلى وعدد الخلايا الحية بعد اضافة المادة .
- ب - مادة قاتلة (مبيدة) للأحياء الدقيقة حيث يقل عدد الخلايا الحية بينما يثبت العدد الكلى بعد اضافة المادة .
- ج - مادة محللة للأحياء الدقيقة حيث يقل العدد الكلى وعدد الخلايا الحية بعد اضافة المادة .

أما اذا كانت المادة المضادة للأحياء الدقيقة من النوع المحلل للبكتيريا (مثل المواد المثبطة لبناء الجدار الخلوى أو التى تخسّل بخاصية شبه النفاذية للغشاء الخلوى) فان كلا من العدد الكلى وعدد الخلايا الحية من البكتيريا ينخفض انخفاضاً ملحوظاً بعد اضافة المادة المضادة للأحياء الدقيقة (شكل ١٢-٦) .

طريقة تقدير المواد المضادة للأحياء الدقيقة :

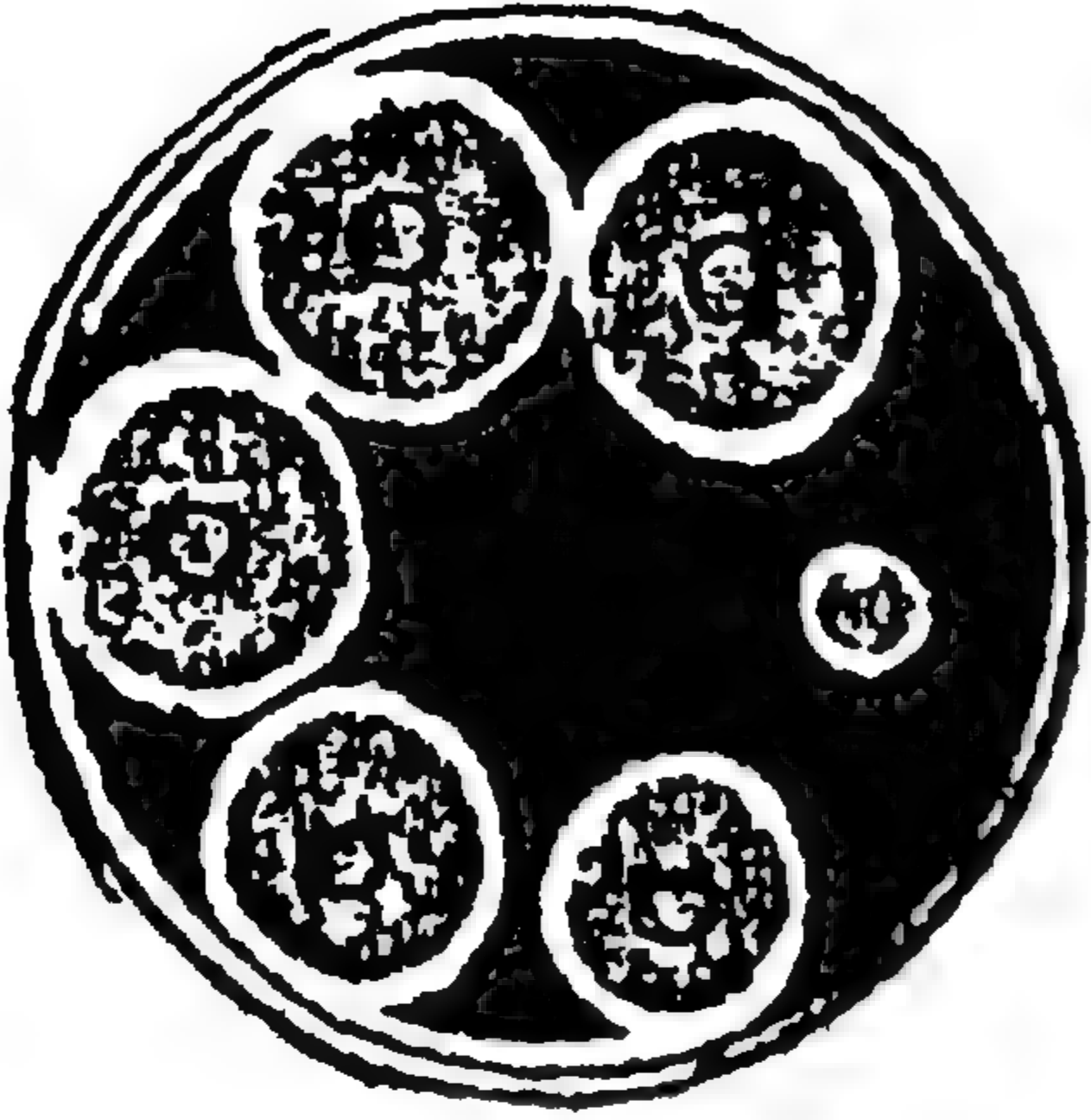
توجد طرق كثيرة لتقدير القوة المضادة للأحياء الدقيقة لمادة ما ، ولكن طريقة تقدير أقل تركيز مثبط للنمو -Miniral Inhibitory Concentration (MIC) هي من أكثر الطرق شيوعاً وهى عبارة عن أقل تركيز من المادة المضادة للأحياء الدقيقة يمكنه إيقاف نمو الميكروب المختبر . ويمكن اجراء ذلك باضافة تركيزات متزايدة من المادة الكيميائية السامة فى سلسلة من أنابيب الاختبار المحتوية على مستنبت سائل ملقح بكميات لقاح موحدة ثم تحضن على درجة الحرارة المناسبة ثم يقدر النمو بكمية انبوية (كل تركيز من المادة السامة) باستعمال طريقة التعكير أو أى طريقة أخرى مناسبة . وبذلك يمكن معرفة أقل تركيز من المادة الكيميائية يمكنه أن يوقف نمو الميكروب المختبر وهو عادة بين تركيز الأنبوية التى لم يحدث بها نمو اطلاقاً وتركيز الأنبوية المجاورة لها فى اتجاه تناقص التركيز والتى حدث بها نمو واضح . وتسمى هذه الطريقة طريقة التخفيف فى أنابيب Tube dilution method .

ومن الطرق الشائعة أيضاً لتقدير القوة النسبية المضادة للأحياء الدقيقة لمادة ما هى طريقة الانتشار خلال الآجار Agar diffusion method وذلك اما باستعمال أقراص من أوراق الترشيح Filter paper disc method توضع على سطح الآجار أو بطريقة عمل آبار Wells فى الآجار بواسطة اسطوانة معدنية ، ثم وضع كميات محددة من التركيزات المختلفة لهذه المادة الكيميائية فى تلك الآبار ، وفى كلا الطريقتين يعد الآجار المناسب والخالى من المادة الكيميائية السامة المراد اختبارها .

وبعد اعداد الآجار يلقي بالميكروب المناسب للاختبار ثم يصب في أطباق ويترك ليتصلب . وفي طريقة أقراص ورق الترشيح توضع الأوراق المشبعة بتركيزات معينة من المادة الكيميائية على سطح الآجار على مسافات متباعدة ثم تحضن على الدرجة المناسبة .

أما في طريقة الآبار فتوضع كميات مناسبة من التخفيفات المختلفة من المادة الكيميائية المراد اختبارها في الآبار ثم تحضن الأطباق على الدرجة المناسبة لنمو ميكروب الاختبار .

تنتشر المادة الكيميائية السامة من ورق الترشيح أو من الآبار خلال الآجار المحيط وتمنع نمو الميكروب في الآجار اذا كان تركيزها كافيا لوقف أو قتل الميكروب في الأماكن التي تصل اليها . ولكن ينمو الميكروب في المناطق الأخرى التي لا تصلها المادة السامة أو يكون تركيزها فيها غير مؤثر على نمو الميكروب المختبر ينشأ عن ذلك ظهور مناطق رائية Clearing zone خالية من النمو حول أقراص ورق الترشيح أو الآبار ، وتسمى هذه المنطقة الخالية من النمو باسم Zone of inhibition وتقدر فعالية المادة المضادة للأحياء الدقيقة بقياس قطر أو نصف قطر المنطقة الرائقة . وتتميز طريقة الانتشار خلال الآجار بإمكان اختبار عدة مواد كيميائية أو عدة تركيزات من نفس المادة على طبق واحد من أطباق الآجار المذكورة (شكل ١٢-٧) . من الضروري دائما توحيد ظروف الاختبار ، إذ أن مساحة المنطقة الرائقة تتوقف ليس فقط على حساسية الميكروب للمادة المختبرة ، بل أن طبيعة المستنبت المستخدم لانماء الميكروب ومعدة تحضين أطباق الآجار ومعدل انتشار المادة الكيميائية في الآجار وتركيز المادة الكيميائية كلها عوامل تؤثر في حجم المناطق الرائقة الناتجة . وحتى مع توحيد ظروف التجربة قد تكون بعض النتائج المتحصل عليها لا تعكس مدى فعالية مادة كيميائية معينة أو مضاد حيوى معين ، فبعض المضادات الحيوية أقل انتشارا في الآجار عن غيرها . فالمواد ذات الوزن الجزيئى الكبير أقل انتشارا في الآجار عن المواد ذات الوزن الجزيئى الصغير .



شكل ١٢-٧ : المناطق الرائقة حول
آبار في الآجار توضح تثبيط النمو
لمزرعة Staphylococcus aureus
التي لقيحت على الطبق . وضعت
كميات من مضادات حيوية مختلفة في
الآبار لمعرفة أيها يوقف نمو هذا
الميكروب . والآبار التي يوجد حولها
مناطق رائقة توضح فعالية هذه
المضادات ضد الميكروب المختبر

كما أن بعض المواد ترتبط بالآجار فيمنع انتشارها وينتج عن ذلك
مناطق رائقة صغيرة .

ان استخدام المواد الكيميائية لعلاج الأمراض يعتبر من أهم
الاكتشافات في مجال الطب . ورغم أن العلاج بالنباتات الطبية والأعشاب
وغيرها من المواد الطبيعية كان معروفاً ، إلا أن اكتشاف السمية الاختيارية
Selective toxicity لمواد معينة في حوالي عام ١٩٠٠ م بواسطة
العالم الألماني إيرلخ Paul Ehrlich كان ذو فضل عظيم في بدء
استعمال الكيميائية في العلاج وذلك عندما اكتشف أن بعض الصبغات
تصبغ الأحياء الدقيقة ولا تصبغ أنسجة الحيوان ، وافترض إيرلخ في
ذلك الوقت أن مثل تلك الصبغة تكون غير قادرة على الاتحاد مع أي مكون
من مكونات خلايا أنسجة الحيوان وعلى ذلك فهي لا تؤثر على خلايا
الحيوان ، واعتقد ان وجود كيميائيات بمثل هذه الصفات تكون بمثابة
الطلقات النارية السحرية Magic bullets حيث تصيب الأحياء
الدقيقة المرضية ولا تؤثر على خلايا الشخص المريض . وبعد اختصار
العديد من المواد الكيميائية لمثل تلك الصفات اكتشف عدد منها أهمها
مادة السالفريسان Salvarsan وهي تستخدم لعلاج مرض الزهري
Syphilis . وفي عام ١٩٣٠ م اكتشف العالم جيرهارد دوماك Gerhard

Domagk مركبات السلفا والتي استخدمت لعلاج كثير من الأمراض، ثم اكتشف بعد ذلك مركب البرونتوسيل Prontosil التي أظهرت تأثيرا واضحا على الفئران المصابة بالبكتيريا السبحية Streptococcus. ولكن هذه المادة لم يكن لها تأثير على نفس الميكروب في أنبوبة الاختبار. واتضح بعد ذلك ان مادة البرونتوسيل تتحلل في الجسم الى السلفانيلاميد Sulfanilamid وهي المادة الفعالة. وبعد ذلك اكتشف أن مادة بارا أمينو بنزويك تعادل فعل السلفانيلاميد بالنسبة للبكتيريا السبحية Streptococcus وأدى هذا الى اكتشاف شبيهات عوامل النمو.

ورغم أن مركبات السلفا ساعدت كثيرا من المرضى، إلا أنه لم يمكن من السيطرة التامة على الأمراض بمركبات السلفا. وكان اكتشاف البنسلين صدفة بواسطة العالم الاسكتلندي فلمنج عام ١٩٢٩ م خطوة أخرى على طريق مكافحة الأمراض، فتم انتاج البنسلين على نطاق تجارى لمعالجة الجنود أبان الحرب العالمية الثانية، وبنهاية هذه الحرب أصبح البنسلين متوفرا بكثرة للمدنيين. ثم اكتشف العديد من المضادات الحيوية بعد ذلك أدت الى شفاء كثير من المرضى في وقت قصير، وقللت نسبة الوفيات في المواليد والأطفال وأصبحت كثير من الأمراض التي كانت تأخذ العديد من الأرواح لا تزيد حاليا عن كونها دراسة طبية.

وفيما يلي نعرض للمواد المضادة للأحياء الدقيقة (المضادات الحيوية Antibiotics ومبيدات الأحياء الدقيقة Germicides وكذلك شبيهات عوامل النمو).

١- المضادات الحيوية : Antibiotics

المضادات الحيوية هي مواد كيميائية تنتجها أحياء دقيقة ولها القدرة على قتل أو تثبيط نمو أحياء دقيقة أخرى. وقد تم اكتشاف الآلاف من المضادات الحيوية ولكن يوجد منها عدد قليل نسبيا ذو أهمية عملية في الطب.

يشيع انتاج المضادات الحيوية بين الأحياء الدقيقة بهدف اعطاء

الأحياء المنتجة لها القدرة على إيقاف نشاط الأحياء الدقيقة الأخرى والأحياء الدقيقة المنتجة للمضادات الحيوية تكثر في التربة وأهمها :

- أ - الفطريات وخاصة فطريات الجنس *Penicillium* الذي ينتج مادة البنسلين .
- ب - البكتيريا التابعة لجنس *Bacillus* وهي تنتج مادة الباستراسين *Bacitracin* ومادة البوليمكسين *Polymyxin* .
- ج - البكتيريا الخيطية *Actinomycetes* التابعة لجنس *Streptomyces* والذي ينتج مضادات حيوية مثل الاستربتومايسين *Streptomycin* والتترا سيكلين *Tetracycline* والكلورامفينيكول *Chloramphenicol* والايثرومايسين *Erythromycin* .

ويمكن تقسيم المضادات الحيوية الى مجموعات ذات تركيب كيميائي متشابهة . ومثل تلك المضادات تكون ذات تأثير متشابه ، وعلى سبيل المثال توجد مجموعة كبيرة من البنسلين ولو أن كلها تؤثر على البكتيريا الا أن بعضها تكون فعالة أكثر على البكتيريا الموجبة لصبغة جرام بينما يكون البعض الآخر أكثر فعالية على البكتيريا السالبة لصبغة جرام .

ويختلف تأثير الأحياء الدقيقة بالمضادات الحيوية . فبعض المضادات الحيوية مخصص لذوات النواة الحقيقية وبعضها مخصص لذوات النواة البدائية وفقا لمركز التأثير في الكائن الحي الدقيق (جدول ٢-٢) . كما أن بعض المضادات الحيوية تؤثر في البكتيريا الموجبة لصبغة جرام وبعضها يؤثر في البكتيريا السالبة لصبغة جرام . كما أن بعض المضادات الحيوية تؤثر في كلا من البكتيريا الموجبة والسالبة لصبغة جرام ، وهذه المضادات الحيوية ذات المدى الواسع *Broad spectrum antibiotics* .

٢- مبيدات الأحياء الدقيقة : *Germicides*

تستخدم مبيدات الأحياء الدقيقة عندما يستحيل أو يكون من غير العملي استعمال الحرارة للتعقيم . فتحتاج المستشفيات الى ضرورة تعقيم بعض الأدوات وكذلك المعدات الحساسة للحرارة المرتفعة مثل

الترمومترا وبعض أدوات الجراحة والمعدات ذات العدسات وأكياس وأنايب البوليثيلين ومعدات التخدير . كما أن مصانع الأغذية كثيراً ما تحتاج الى ضرورة معاملة الأرضيات والحوائط بمبيدات الأحياء الدقيقة بهدف خفض حملتها الميكروبية كما تعامل مياه الشرب كثيراً بمبيدات الأحياء الدقيقة للتخلص من الأحياء الدقيقة الضارة . كما يجب معاملة مياه المجارى بمبيدات الأحياء الدقيقة بعد معالجتها وقبل صرفها فى البيئة .

ولا تعنى المعاملة بمبيدات الأحياء الدقيقة تمام التعقيم ، إذ أن كثيراً من مبيدات الأحياء الدقيقة لا يستطيع قتل جراثيم البكتيريا أو حتى الخلايا الخضرية لميكروب السل Mycobacterium tuberculosis ولكن المعاملة بمبيدات الأحياء الدقيقة لا شك أنها تقتل معظم البكتيريا المرضية غير المتجرثة وتقلل الحمولة الميكروبية عموماً ، والجدول (٣-١) يلخص أكثر مبيدات الأحياء الدقيقة استعمالاً وموقع تأثيرها على الأحياء الدقيقة .

٣- شبيهات عوامل النمو Growth-Factor Analogs

عند مناقشة تغذية الأحياء الدقيقة أشرنا الى أن عوامل النمو هى مواد كيميائية خاصة تحتاجها بعض الأحياء الدقيقة فى المستنبت الغذائى وذلك لأن مثل تلك الأحياء الدقيقة لا تستطيع بناء هذه المواد الكيميائية بنفسها . وعند وجود عوامل النمو المذكورة فى المستنبت أو الوسط الغذائى فإن الميكروب ينمو نمواً طبيعياً ، ولكن عند استبدال عوامل النمو بمواد شبيهة بعوامل النمو من الناحية التركيبية فإن شبيهات عوامل النمو تدخل مكان عوامل النمو الأساسية وتعوق استعمال عوامل النمو الأصلية . ولو أن شبيهات عوامل النمو تشبه عوامل النمو الأساسية من الجهة التركيبية إلا أنها تختلف عنها اختلافاً جوهرياً من الناحية الوظيفية ، فلا تستطيع شبيهات عوامل النمو القيام بنفس العمل الذى تقوم به عوامل النمو نفسها ، وكان أول شبيهات النمو التى اكتشفت هى مركبات السلفا Sulfa drugs وقد استخدمت لعلاج بعض الأمراض

نتيجة قدرتها على تثبيط نمو البكتيريا المسببة لتلك الأمراض دون تأثيرها على الانسان نفسه .

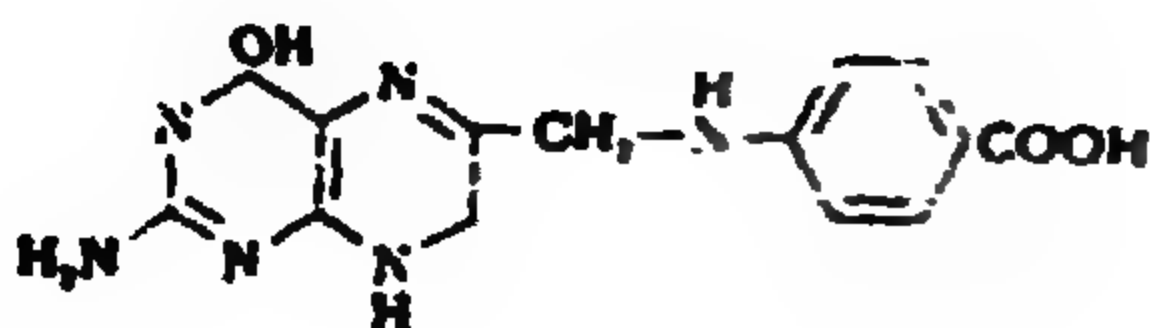
وأبسط مركبات السلفا المعروفة هي مركب السلفانيلاميد-Sulfanila- mide (شكل ١٢-٨) وهو مركب شبيه بحمض بارا أمينو بنزويك (شكل ١٢-٩) الذي يشكل نواة لتكوين الفيتامين المعروف باسم حمض الفوليك Folic acid (شكل ١٢-١٠) . ففي الأحياء التي تقوم ببناء حمض الفوليك بنفسها مثل العديد من البكتيريا فان مركب السلفانيلاميد يعوق تكوين حمض الفوليك ، ولذلك يكون مركب السلفانيلاميد فعالا ضد تلك البكتيريا ، ولا يكون السلفانيلاميد فعالا ضد الانسان والحيوانات الراقية ، نظرا لأن الانسان والحيوانات الراقية لا يبنون حمض الفوليك ، بل يتناولونه في غذائهم .



شكل ١٢-٨ : سلفا نيلاميد

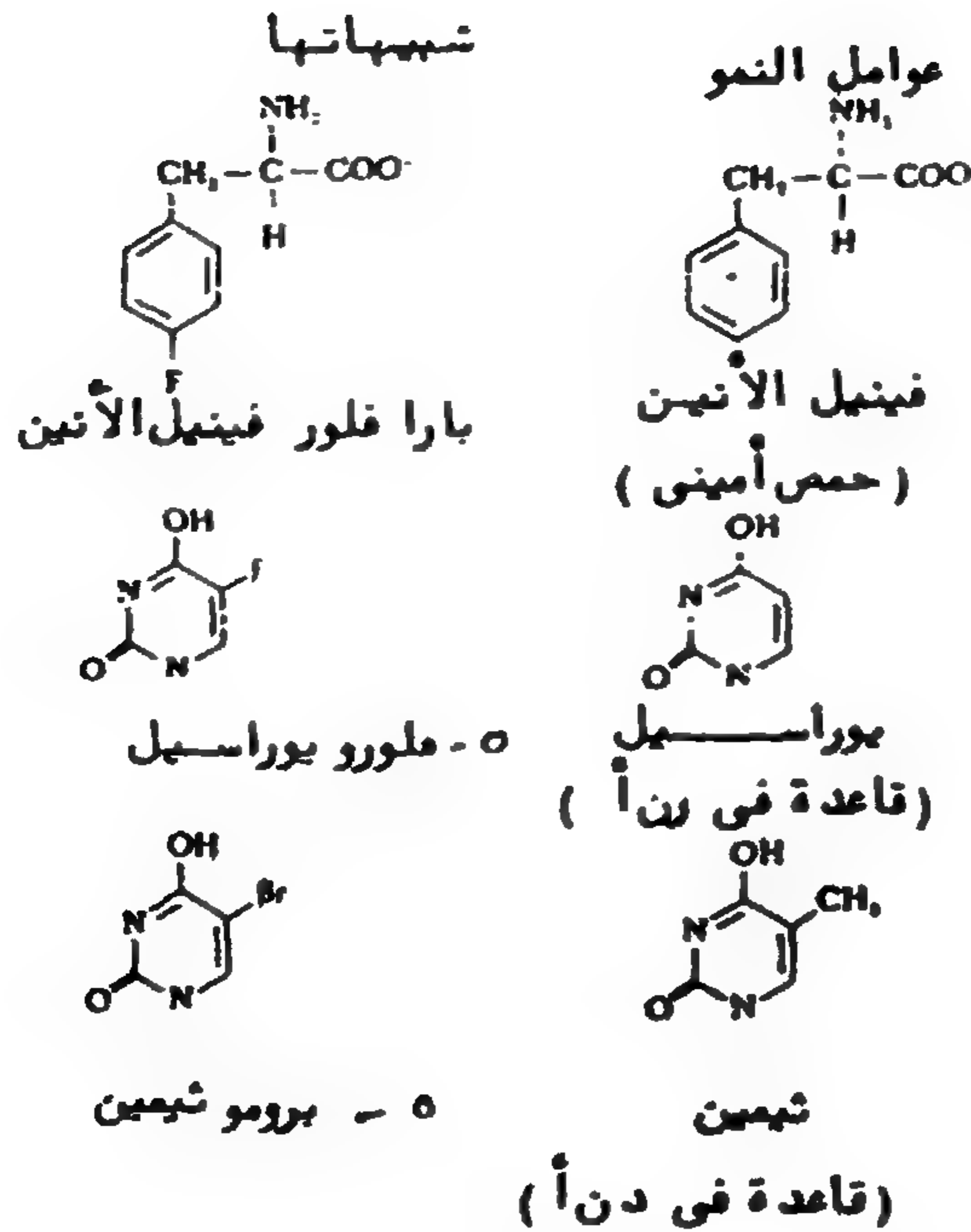


شكل ١٢-٩ : بارا أمينو بنزويك



شكل ١٢-١٠ : حمض الفوليك

كما أن أبحاث المعالجة بالكيميائيات توصلت أيضا الى استعمال شبيهات عوامل النمو كمثبطات تنافسية Competitive inhibitors لايقاف المسارات الحيوية لبناء عوامل النمو في الأحياء الدقيقة بما يؤدي الى توقفها عن النمو في النهاية . وفي الوقت الحالي يوجد شبيهات لكثير من عوامل النمو مثل الفيتامينات والأحماض الأمينية وقواعد البيورين والبريميدين وغيرها من المركبات . ويوضح الشكل (١٢-١١) بعض عوامل النمو وشبيهاتها التي استخدمت لتثبيط النمو في بعض الأحياء الدقيقة .

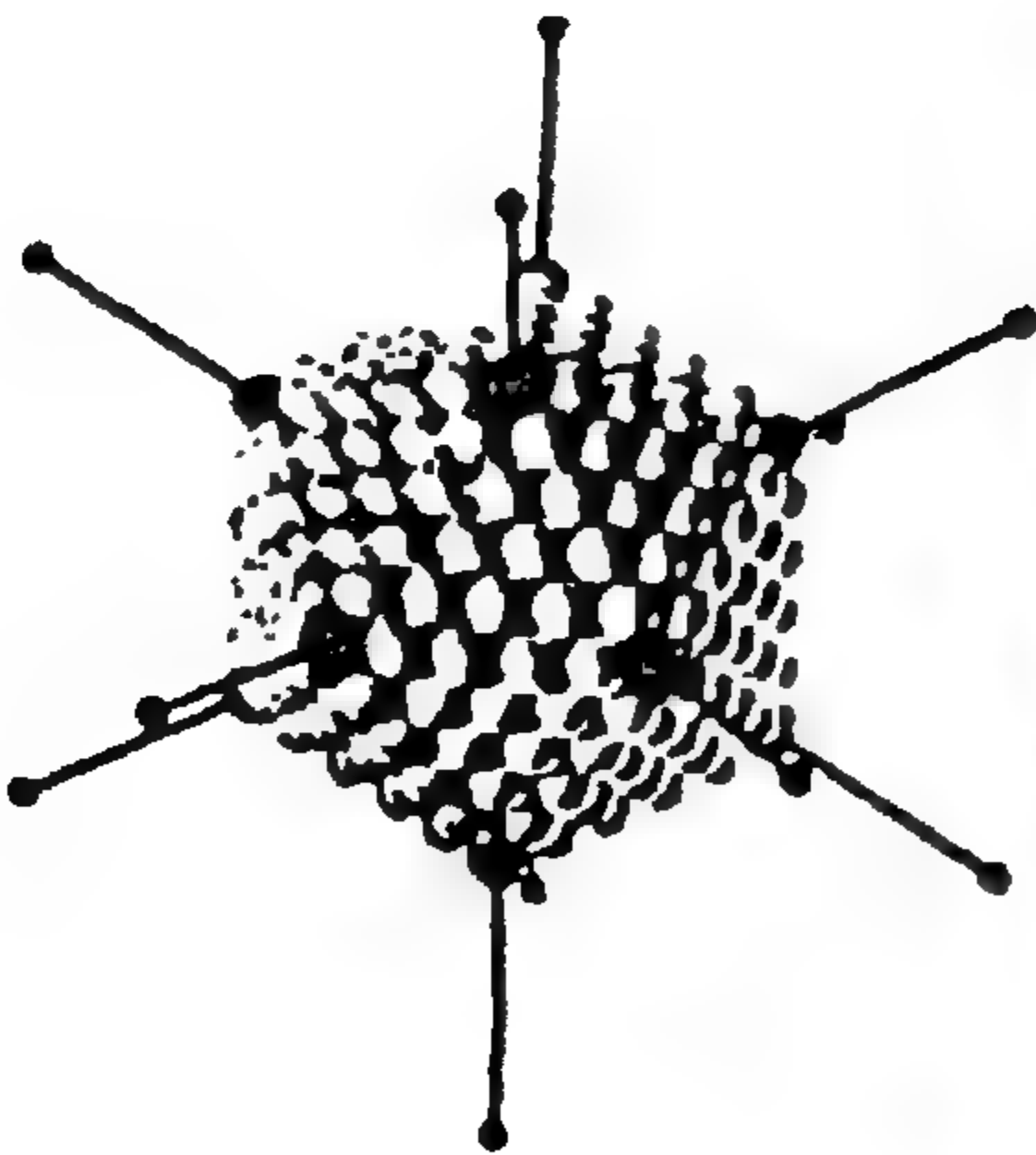


شكل ١٢-١١ : أمثلة لعوامل النمو وشبيهاتها

البَابُ الخَامِسُ

علم الفيروسات العام

الفصل الثالث عشر : مقدمة لعلم الفيروسات العام
الفصل الرابع عشر : التركيب الكيميائي للفيروسات
الفصل الخامس عشر : تقسيم وتسمية الفيروسات



الفصل الثالث عشر

مقدمة لـ علم الفيروسات

Introduction to Virology

أولاً ، تعريف علم الفيروسات : Virology

هو العلم الذى يبحث فى ماهية الفيروسات وخصائصها الطبيعية والكيميائية والبيولوجية ، والأمراض التى تسببها للإنسان والحيوان والنبات والأحياء الأخرى وكيفية مقاومتها أو الاستفادة منها .

واشتقت كلمة فيروسولوجى Virology (علم الفيروسات) من أصل لاتينى ، هو فيروس Virus وكانت هذه الكلمة تستخدم للدلالة على وصف مادة ما بالسمية ، وذلك لأنها مأخوذة من كلمة Venum وهو سم الثعبان ، ثم تطور استخدام كلمة فيروس Virus الى ما قبل اكتشاف المجهز واكتشاف الأحياء الدقيقة ، فاستخدمت كلمة فيروس لوصف أى مادة تسبب امراضا بغض النظر عما اذا كان مسبب المرض فيروس أو بكتيريا أو غير ذلك من مسببات المرض ، فالأحياء الدقيقة لم تكن معروفة بعد كما نعرفها اليوم .

بدأ التعرف على الأحياء الدقيقة كمسبب للأمراض فى حوالى عام ١٨٦٠م ، وتم اكتشاف مسببات الكثير من الأمراض ، لذلك اقتصر استعمال كلمة فيروس على مسببات الأمراض التى لم تعرف المادة المسببة لها مثل مرض القدم والفم Foot and mouth disease - وهو مرض يصيب الحيوانات ، ومرض تبرقش الدخان Tobacco Mosaic Virus ويرمز له عادة بالرمز (TMV) وهو تعاقب اللون الأخضر القاتم والفاتح على أوراق الدخان ، وفى عام ١٨٩٢ اكتشف ايفانوفسكى Ivanowski أن مسبب مرض تبرقش الدخان يمر خلال المرشحات البكتيرية (والمعروف حينئذ أن المرشحات البكتيرية لا تسمح بمرور أصغر أنواع الأحياء الدقيقة ، وهى البكتيريا) دون أن تتأثر قدرته على إحداث المرض ، وبعد ذلك بفترة زمنية بسيطة اكتشف لوفلر وفورش Löffler and Frosch أن مسبب مرض القدم والفم أيضا يمر خلال المرشحات البكتيرية ، وبعد ذلك تسم

اكتشاف أن مسببات العديد من الأمراض النباتية والحيوانية تنفذ خلال المرشحات البكتيرية .

ونظرا لأن الترشيح كان هو الوسيلة الوحيدة لتمييز هذه الكائنات التي تنفذ من المرشحات البكتيرية عن غيرها من الكائنات والتي لا تنفذ من المرشحات ، فقد أضيفت كلمة (القابلة للترشيح) الى كلمة فيروس ، فسميت بالفيروسات التي تمر خلال المرشحات البكتيرية Filterable Viruses ، وقد اختصرت بعض المراجع العربية هذه التسمية فأطلقت على الفيروسات اصطلاحا جديدا وهو (الرشيحات) . ولكن بعد اكتشاف الفيروسات وطبيعتها وكذلك اكتشاف أنواع من المرشحات لا تسمح بمرور الفيروسات ، فان كلمة (الرشيحات) أو تعبير " التي تمر خلال المرشحات البكتيرية " Filterable قد أهملتا ، وأصبحت كلمة فيروس تستخدم لوصف مجموعة خاصة من الأحياء المتناهية الدقة بحيث أنها تمر من المرشحات البكتيرية ، وهي متطفلة اجبارية ، ووحدة تركيبها الفيرون .

ثانياً : أهم الصفات التي تميز الفيروسات عن الأحياء الأخرى

لقد حاول العديد من الباحثين والمؤلفين في علم الفيروسات وضع تعاريف للفيروس غير أن سرعة تطور هذا العلم والتغاير الكبير في خصائص الفيروسات المختلفة قد جعل تلك التعاريف غير كافية لكافة خصائص الفيروسات المختلفة ، كما جعل من الصعب تعريف الفيروس ببضعة أسطر .

وأهم الصفات التي تميز الفيروسات عن الأحياء الأخرى ما يلي :

(١) يحتوى الفيرون — وهو الطور الخارجى للفيروسات على نوع واحد من الحمض النووى اما د ن أ (DNA) أو ر ن أ (RNA) ، بينما تحتوى الكائنات الأخرى على كليهما .

(الفيرون هو جسيم فيروس كامل ، أى يحتوى على الحمض النووى والغطاء البروتينى وبقية المكونات الأخرى إن وجدت) .

- (٢) يعتمد تضاعف الفيروسات على الحمض النووي فيها فقط ،
بينما تعتمد الكائنات الحية الأخرى في تكاثرها على مجموع مكوناتها بصورة
متكاملة ومتضامنة .
- (٣) ليس للفيروسات القدرة على النمو أو التكاثر بالانشطار ،
ولكن تتضاعف بطريقة خاصة تعتمد على المادة الوراثية لها ، بينما تنمو
الأحياء الخلوية وتتكاثر بالانشطار أو الانقسام .
- (٤) لا تحتوي الفيروسات على المعلومات الوراثية اللازمة لتكوين
الأنظمة الخلوية لإنتاج الطاقة مثل نظام ليبمان Lipman System
بينما تحتوي الأحياء الخلوية على أنظمة إنتاج الطاقة .
- (٥) تستخدم الفيروسات ريبوسومات خلايا العائل فـسـى
تضاعفها ، وتسمى هذه الحالة بالتطفل الإجبارى المطلق .
- (٦) جسيم الفيروس عبارة عن نظام استاتيكي ثابت Static
system بمعنى أنه ليس لديه القدرة على تغيير أو استبدال أجزائه
طالما لم يغزو خلايا حية ... أما الخلايا الحية على اختلافها عبارة
عن نظام ديناميكي مفتوح Open dynamic system والمقصود بنظام
ديناميكي أنها فى حالة تغير مستمر نتيجة لتجديدها لمكوناتها فهى
باستمرار تأخذ مواد من البيئة تستعملها فى بناء مكوناتها وتخرج
النواتج الثانوية . ومع أن الخلية فى حالة تغير مستمر ، فإنها تظل
دائما نفس الخلية لذلك ، فهى نظام مفتوح Open system .
- (٧) الفيروسات تتكون نتيجة لتجميع جزئيات البروتين ونسخ
من الحمض النووى الفيروسى . وكلا من البروتين والحمض النووى يتكونان
مستقلين عن بعضهما . أما الخلايا فهى تتكون كنتيجة مباشرة لانقسام
خلايا سابقة بعد زيادة منظمة فى جميع محتويات الخلية الأم .
- (٨) تتميز الفيروسات عامة بصغر الحجم وعدم امكان رؤيتها
الا باستخدام المجهر الالىكترونى .

(٩) لا تستجيب الفيروسات المرضية عموماً للعلاج بالمضادات الحيوية ... بينما تستجيب الأحياء المرضية الأخرى (البكتيريا والفطريات) للعلاج بالمضادات الحيوية المختلفة .

ثالثاً ، نبذة تاريخية عن الفيروسات

الأمراض الفيروسية :

بالرغم من اكتشاف الفيروسات كمسببات مرضية في أواخر القرن التاسع عشر ، إلا أن هناك دلائل على وجود هذه المسببات المرضية على الأرض واصابتها للإنسان والحيوان والنبات تمتد لعدة قرون قبل اكتشافها .

فقد سجل قدماء المصريون على آثارهم وجود الأعراض المميزة لمرض شلل الأطفال Poliomyelitis والذي يسببه فيروس مرض شلل الأطفال المعروف Polio virus . والشكل (١-١٣) يوضح الأعراض المميزة للإصابة بمرض شلل الأطفال في الساق اليمنى لأحد الكهنة .



شكل (١-١٣) : صورة لنحت من عهد الأسرة المصرية الثامنة عشرة والتي تمتد تاريخها إلى ما قبل ١٥٠٠ سنة قبل الميلاد .

ويظهر في الصورة أحد الكهنة ، وتبدو عليه الأعراض المميزة لمرض شلل الأطفال في الساق اليمنى .

وقد سجل هذا الشكل في عهد الأسرة المصرية الثامنة عشرين ،
والتي يمتد تاريخها الى ما قبل ١٥٠٠ سنة قبل الميلاد . كما يعتقد
أن مرض الجدري (وهو مرض فيروس أيضا) كان موجودا في الصين قبل
الميلاد بحوالى ٣٠٠ سنة . ويوجد دلائل على أن أمراض الحمى الصفراء
Yellow fever والانفلونزا Influenza كانت منتشرة في العالم
الغربي ، حتى قبل أن يتمكن كولومبس Columbus من الربط بين
القارات . كما يعتبر داء الكلب Rabies من أقدم الأمراض الفيروسية
التي تصيب الكلاب وجميع الحيوانات ذات الدم الحار .

أما بالنسبة للأمراض الفيروسية التي تصيب النباتات والحشرات
والبكتيريا ، فإن اكتشافها يعتبر حديثا اذا ما قورن بتاريخ الأمراض
الفيروسية التي سبق ذكرها بالنسبة للإنسان والحيوان ... غير أن هذا
لا يعنى أن هذه الفيروسات لم تكن موجودة في الطبيعة قبل اكتشافها .
ويعتبر أقدم هذه الأمراض الفيروسية سجلا هو مرض انكسار اللون فسي
أزهار التوليب Tulip colour breaking حيث ذكر المرض في عام
١٥٧٦ م ... ورغم أن هذه الظاهرة هي أحد الموزايك ، وأن سبب
هذا المرض كان مجهولا في ذلك الحين ، إلا أن هواة الأزهار كانوا
يشتركون الأزهار المصابة (التي حدث بها انكسار اللون) بأسعار
باهظة وخيالية .

ومن الأمراض الفيروسية الأخرى التي عرفت قديما تلك التي لوحظت
في محصول البطاطس حوالى عام ١٧٦٥ م في أوروبا والتي كان من أهم
مظاهرها تدهور انتاجية البطاطس . ومن المعروف الآن أن نباتات
البطاطس حساسة للإصابة بمجموعة من الفيروسات تقدر بأكثر من ثلاثين
فيروسا ، وأن الاستمرار في تكاثر البطاطس خضريا لعدة سنين دون
اتخاذ اجراءات وقائية تؤدي الى تراكم هذه الفيروسات فيها وبالتالي
الى تدهورها Degeneration .. وانخفاض انتاجيتها .

وكان للملاحظة التي لاحظها الطبيب الانجليزى توررت Twort
عام ١٩١٥ م أكبر الأثر في اكتشاف الفيروس الذى يصيب البكتيريا . فقد

لاحظ أن مستعمرات البكتيريا النامية على الاجار يظهر بها أجزاء شفافة تدل على أن البكتيريا في هذه الأجزاء الشفافة قد تحللت أو تآكلت ... وقد قام بتمرير معلق من تلك المستعمرات البكتيرية خلال مرشح بكتيرى ، وأضاف الراشح الخالى من البكتيريا الى مزرعة بكتيرية جديدة ، فوجد أن هذا الراشح له خاصية احداث الأجزاء الشفافة في تلك المزرعة مما يدل على أن المسبب له خاصية الفيروسات . وقد أطلق الباحث الكندى ديريل d' Hereille (الذى اكتشف نفس الظاهرة في نفس الوقت مستقلا عن زميله البريطانى) على مسببات حدوث الأجزاء الشفافة اسم آكلة البكتيريا Bacteriophage ، وعادة ما تختصر هذه التسمية الى كلمة الفاج Phage للتعبير عن الفيروسات التى تصيب البكتيريا . وكان للدراسات والبحوث التى قامت لدراسة علاقة الفيروس بخلية البكتيريا أكبر الأثر في اعتبار علم الفيروسات من العلوم الأساسية القائمة بذاتها في الوقت الحاضر .

طبيعة الفيروسات :

حدث كثير من الجدل - في الماضى - لفترات زمنية طويلة حول طبيعة الفيروسات ، فقد اعتقد البعض انها سموم سائلة ، بينما اعتقد البعض الآخر أنها عبارة عن انزيمات أو أحياء دقيقة خلوية ، ولكن طبيعة الفيروس الحقيقية لم تعرف في ذلك الوقت لعدم تمكن العلماء من تنقية وعزل الفيروسات . ولقد افترض معظم العلماء الذين قاموا بدراسة الفيروسات في نهاية القرن الماضى أن الفيروسات عبارة عن قسم آخر من الأحياء الدقيقة الخلوية لا يختلف عن سائر الأحياء - فى أى اختلافات جوهرية سوى فى الحجم فقط ، وفي ذلك الوقت كانت الأحياء تتميز بصفات أربع أساسية هى النمو والتكاثر والتغذية والتنفس .

وقد ثبت أن جميع الفيروسات كانت دائما متطفلة اجباريا Obligate parasites لا تتكاثر (تتضاعف) الا داخل خلايا حية ، ولكن نظرا لأن عددا من الأحياء الأخرى ايضا متطفلة اجباريا ، فانه

لم يمكن الفصل بين الفيروسات وغيرها من الكائنات الدقيقة على أساس صفة التطفل الاجبارى ، حتى أثبت بايرنك M.W. Beijerinck فى نهاية القرن الماضى أن فيروس تبرقش الدخان يمكن ترسيبه بالكحول دون أن يفقد حيويته وقدرته على احداث الاصابة . كما أثبت هذا العالم أن هذا الفيروس ذو قدرة على الانتشار Diffusing خلال الآجسار وهاتين الصفتين لم يعرفا فى أى أحياء دقيقة أخرى من قبل . لذلك فقد اقترح بايرنك أن تكون هذه الفيروسات كائنات غير حية ، وأسماها أساس السوائل المعدية Fluid infectious principles . ولقد مضت أربعون عاما تقريبا من قبل أن يستطيع أحد تأكيد هذه الطبيعة للفيروسات ، حتى استطاع العالم الأمريكى ستانلى M.W. Stanley فى عام ١٩٣٥ من عزل وتنقية فيروس تبرقش الدخان TMV بشكل بلورات بروتينية نقية من عصير نباتات الدخان المصابة ، وذلك بترسيبها بكبريتات الأمونيوم . وتميزت هذه البلورات بقدرتها على العدوى والتكاثر داخل الخلايا الحية ، ومن ثم احداث المرض . وفى عام ١٩٣٦ اكتشف بودن وبيرى Bawden & Pirie فى انجلترا أن بلورات الفيروس التى عزلها ستانلى لم تكن بروتينا فقط فحسب ... بل كانت تحوى أيضا على حامض نووى ريبوزى (رن أ) RNA ، ولم يكن معروفا حينئذ الدور الحيوى الهام الذى تلعبه الأحماض النووية فى الكائنات الحية ... وكان نجاح برنت F.M. Burnet عام ١٩٣٥ فى اثمار فيروس الانفلونزا على أغشية الأجنة النامية فى بيض الدجاج هى الخطوة الأولى فى اثمار الفيروسات التى تصيب الانسان والحيوان فى الأجنة ، وكذلك فى أنسجة الحيوان المختلفة مما أدى الى امكان تجهيز لقاحات ضد الأمراض المختلفة . ولو أن الفضل فى اكتشاف اللقاحات Vaccines يرجع الى باستير Pasteur (١٨٢٢ — ١٨٩٥م) الذى نجح فى اعداد لقاح داء الكلب Rabies رغم عدم تمكنه من عزل وتنمية الفيروس المسبب فى المعمل وعدم تمكنه من رؤيته بالمجهر المتوفر آنذاك .

وفى عام ١٩٠٩ م اكتشف العالم الأمريكى ريكيتس Ricketts مسببا آخر لبعض الأمراض المعدية مثل مرض التيفوس وحصى كيو (Q) ، وقد

وجد أن هذا المسبب يحتل مكانا وسطا بين البكتيريا والفيروس ، ولو أنه لم يوجد سبب يدل على أنه يمثل حلقة تطور بين المجموعتين . وقد سميت مسببات هذه الأمراض بأسماء مكتشفها ريكيتسيا Rickettsia وهي أحياء صغيرة جدا متطفلة اجباريا مثلها في ذلك مثل الفيروسات .

ثم اكتشف بعد ذلك مجموعتان أخرتان من الأحياء الصغيرة جدا المتطفلة اجباريا أيضا وهي الكلاميديا Chlamydia والميكوبلازما Mycoplasma ، وهي تسبب أمراضا للإنسان والحيوان أيضا . ونظرا للتشابه الشديد بين كلا من الركتسيا والكلاميديا والميكوبلازما من جهة وبين الفيروسات من جهة أخرى في صفة التطفل الاجباري وصغر الحجم لصعوبة رؤيتها بالمجاهر الضوئية المتاحة حينئذ ، فقد وضعت الفيروسات Order Virales كاحدى مجموعات البكتيريا Bacteria في قسم الفطريات Schizomycetes من المملكة النباتية . وذلك رغمًا عن الاختلافات الواضحة بين الفيروسات وسائر الأحياء الخلوية ، وأهم هذه الاختلافات ان الفيروسات لا تتركب من خلايا مثل سائر الأحياء ، ولكن وحدة التركيب الكاملة للفيروسات تسمى فيروسون Virion ... أما الكلاميديا والركتسيا والميكوبلازما فقد ثبت فيما بعد أنها مجموعات بكتيرية حقيقية . (الجدول ١٣-١) يبين الفروق بين هذه الأحياء المختلفة ، وكان اكتشاف المجهر الالكتروني Electron microcope لأول مرة عام ١٩٣٩ عاملا هاما في معرفة اشكال وأبعاد بعض الفيروسات .

ولكن لم يعرف في ذلك الوقت أي من مكونات الفيروسات يسبب العدوى ، الى أن اقترح ابستين Epstein عام ١٩٥٣ أن الحمض النووي لفيروس تبرقش الدخان TMV هو الأساس في العدوى ، وليس الجزء البروتيني المحيط به ... وقد تأكد ذلك بتجارب جيرار وشيـرام Girer & Schramm في انجلترا عام ١٩٥٦م وتجارب فرانكل وكونرات Fraenkel-Conrat في أمريكا في نفس العام ، فقد استخدم الفينول ومركبات أخرى في فصل الغطاء البروتيني المحيط بالحمض النووي فسـيـ جسم الفيروس عن بعضهما ... فوجد أن الحمض النووي (رنا) RNA هو الجزء القادر على احداث العدوى .

جدول ١٣-١ : الفروق بين الفيروسات والأحياء الدقيقة الخلوية :

الكائن الدقيق Micro-organism	الحجم بالنانومتر Size nm	التركيب الكيميائي Chemical composition	التكاثر Multipli- cation	التثبيت بالمعادن الحيوية كالبنطليين والتراسيكليين والفلوروناميدات	خواص الصبغ Staining	الأحماض النورية
(١) البكتيريا	٢٠٠٠ - ٥٠٠	معقد (يشمل الحديد من البروتينات والكربوهيدرات والدهون والأحماض النورية من أ. ب. أ. يحتوي الجدار الخلوي على بيتيدوجليكان	بالانقسام ثنائي Binary fission يتم في السواحل أو المستعمرات السائلة أو الصلبة أو داخل الخلايا المعادل .	حماة للمعادن الحيوية	تصبغ بصبغات مختلفة	د ن + ر ن
الميكوبلازما	١٥٠ - ١٠٠٠	وهي بكتيريا تشبه ما سبق فيها هذا الجدار الخلوي للميكوبلازما ليس لها جدار خلوي .	تشبه مسا سبق فيما هذا الانقسام لهم بالتبرعم Budding	حماة لتراتكبين ولكنها ليس حماة للبنطليين والفلوروناميدات .	فصلية الاستجابة للصبغ .	د ن + ر ن
(٢) الركتسيا	٢٥٠ - ١٠٠	هي بكتيريا تشبه ما ذكر في البكتيريا .	تتكاثر داخل خلايا حية فقط . وتنقسم بالانقسام ثنائي البيط .	حماة للمعادن الحيوية	تصبغ بصبغات مختلفة	د ن + ر ن
(٣) الكلاميديا (الهدموني)	٢٥٠ - ٤٠٠	هي بكتيريا تشبه ما ذكر في البكتيريا .	تشبه مسا فسي الركتسيا	حماة للمعادن الحيوية	تصبغ بصبغات مختلفة	د ن + ر ن
(٤) الفيروسات	١٥ - ٢٥٠	تحتوي على حمض نوري واحد فقط أما من أ. ب. أ. فهي بروتينية وأحيانا يوجد غلاف خارجي يحتوي على الدهون أو الكربوهيدرات	تتكاثر داخل خلايا حية فقط . لا تنقسم ولكن يتم تكوين المكونات منظمة ثم يتم تجميع المكونات لتكوين جسيمات فيروسات كاملة .	لا تستجيب للمضادات الحيوية	يمكن صبغها أحد بأמצاح الحمضين المصنفين النوريين لتحليل للحمض فقط بالمجهزات د ن أ الإلكترونية و ر ن أ	د ن + ر ن

علاقة الفيروسات بالأحياء الأخرى :

تميزت الأحياء عن غيرها في الماضي بأربع صفات أساسية ... هي النمو - التكاثر - التغذية - والتنفس ... وقسمت الأحياء كلها إلى مملكتين أساسيتين هما المملكة النباتية Kingdom Plantae والمملكة الحيوانية Kingdom Animalia وفقا لصفات معينة .

ولم تظهر مشاكل تذكر في تقسيم الأحياء المعروفة في ذلك الوقت ، الى أن اكتشفت المجاهر التي أدت الى رؤية الأحياء الدقيقة ، وظهرت الى الوجود نظرية الخلية Cell theory فأضيفت صفة التركيب الخلوي الى الصفات المميزة للكائنات الحية ، وبذلك فان البكتيريا والفطريات وهي كائنات خلوية وضعت ضمن المملكة النباتية ... أما البروتوزوا فوضعت في المملكة الحيوانية اعتمادا على وجود الجدار الخلوي أو غيابه ، وعندما اكتشفت الفيروسات في بداية هذا القرن ، وهي كائنات غير خلوية يمكن ترسيبها بالكحول أو كبريتات الأمونيوم ويمكن بلورتها دون أن تفقد قدرتها على احداث العدوى ، كما أنها تنتشر خلال الآجار ... وهذه الصفات لم تعرف في أى من الأحياء الخلوية المعروفة في ذلك الوقت ، كما أن الفيروسات قادرة على مضاعفة نفسها داخل خلايا حية ، وهي قادرة على احداث أمراض مختلفة في الانسان والحيوان والنبات وغيرها من الأحياء ... لذلك اختلفت الآراء فيما اذا كانت الفيروسات كائنات حية أم لا ؟ ..

وتتوقف الاجابة على هذا السؤال على الاجابة على سؤال أهم ... وهو ما الحياة نفسها ؟ .. فالحياة يمكن النظر اليها على أنها مجموعة من العمليات المعقدة تحكمها وتنظمها المعلومات الشفرية الموجودة على الحمض النووي الخاص بالكائن الحي طول الوقت .. وعندما يتوقف الحمض النووي عن تنظيم هذه العمليات المعقدة تتوقف الحياة . ففي الخلايا الحية يقوم الحمض النووي دي أوكس ريبو نيكليك DNA بتنظيم العمليات الحيوية طول الوقت . أما في الفيروسات فان الحمض النووي الفيروسي ينظم العمليات الحيوية فقط عندما يدخل هذا

الحمض النووي الى خلية حية ، فيوجه الخلية لبناء الحمض النووي الفيروسي والبروتيني الفيروسي بدلا من بناء مكونات الخلية نفسها . لذلك تكون الفيروسات حية أثناء التضاعف داخل الخلايا .. كما أنه يمكن النظر للفيروسات على أنها كائنات حية أيضا كمادة مسببة للأمراض لا تختلف بذلك عن أى كائنات خلوية متطفلة اجباريا . وعلى النقيض من ذلك يمكن النظر للفيروسات على أنها جسيمات خاملة حيويا عندما تكون خارج الخلايا ، فحيوية مثل تلك الفيروسات لا تزيد عن حيوية قطعة أى مركب كيميائي نقي ... والنقاش حول ما اذا كانت الفيروسات حية أم لا ... يمتد منذ تمكن ستانلى Stanley فى عام ١٩٣٥م من بلورة فيروس تبرقش الدخان TMV اذ لم يتقبل كثير من العلماء فكرة امكان بلورة أى مادة حية .

وعلى أى حال ... تختلف نظرة كثير من العلماء الى الفيروسات . فعلماء الوراثة قد ينظرون للفيروسات على أنها كائنات حية نظرا لأنها عناصر وراثية تستطيع — عند غزوها لخلايا حية — انتاج بروتينات فيروسية وأحماض نووية خاصة بها . وهذين المكونين هما الأساس للكائنات الحية . أما علماء الفسيولوجيا — وهم يعلقون أهمية أكثر على القدرة الذاتية على انتاج الطاقة وبناء المكونات المختلفة للكائنات الحية — فقد ينظرون للفيروسات على أنها مواد غير حية على اعتبار انها لا تقدر على انتاج الطاقة ولا بناء مكوناتها بنفسها .

ولذلك فوجهتى النظر صحيحتان ولكن كلاهما غير كاف بمفرده . نظرا لأن الفيروسات تتبادل مرحلتين من مراحل الحياة . فالفيروسات (الطور الخارجى) غير قادرة على التكاثر (التضاعف) أو النمو بنفسها ، وان كانت قادرة على غزو الخلايا حيث يبدأ (الطور الداخلى) فسي مضاعفة مكوناته ثم تركيب فيروسات جديدة تنطلق لتصيب خلايا جديدة . ويمكن فقط الاجابة على السؤال : ما اذا كانت الفيروسات كائنات حية أم لا ... ؟ اجابة كاملة عندما تأخذ فى الاعتبار كلا المرحلتين الخارجيه والداخلية للفيروسات .

وحيثما عدلت الصفات العامة للأحياء لكي تشمل الفيروسات، واتفق حالياً على أن الأحياء تتميز بثلاث صفات أساسية وهي :

- ١- كل الكائنات الحية وحدتها الخلية أو الفيريون .
- ٢- كل الكائنات الحية تقوم بنشاطات خاصة تسمى التمثيل الغذائي Metabolism .

- ٣- كل الكائنات الحية تحتوى على أحماض نووية وبروتينات .

ووفقاً للصفات الثلاث المذكورة ، يمكن النظر إلى الفيروسات على أنها أحياء ، رغم خمول طورها الخارجى (الفيريونات) والموجود خارج العائل .

ونظراً لاختلاف الفيروسات عن سائر الكائنات الحية فى عدم وجود التركيب الخلوى ، فإن الفيروسات تقسم الآن فى تقسيم منفصل عن البكتيريا وغيرها من الأحياء الخلوية بعد أن كانت توضع فى قسم واحد (مع البكتيريا) ضمن أقسام الفطريات فى المملكة النباتية .

رابعاً : أصل ونشأة الفيروسات

بالنسبة لأصل Origin ونشأة الفيروسات وكيفية تطورها فغير معروف على وجه التأكيد . بعض العلماء يفضل النظر إليها على أنها نشأت مستقلة ، ثم تكونت منها الكائنات الخلوية ذات النواة البدائية ، وهكذا حتى وصلنا إلى الكائنات الراقية . بينما يفضل بعض العلماء النظر إلى الفيروسات على أنها نشأت عن الخلايا بحيث فقدت وظائف هامة ، ولا يمكنها أن تعيش أو تقوم بالوظائف الحيوية المختلفة بمفردها ودون غزوها لأنظمة حية تكمل بها النقص فى وظائفها الحيوية . والتصور الثانى أسهل لو تخيلنا بعض الفيروسات ذات القدرة على الاتصال بكروموسوم الخلية كما فى الفيروسات المعتدلة Temperate viruses والتي يحتمل أن تكون نشأت أساساً من خلايا تعرضت لتغيرات وراثية

نتج عنها انفصال هذه الفيروسات، ثم نشأت الفيروسات المحللة
Lytic viruses.

ولكن هذه النظرية الثانية يصعب بها تفسير نشأة الفيروسات ذات
الحمض النووي ريبو نيكليك رنأ RNA Viruses حيث أن الحمض
النووي رنأ RNA لا ينسخ Replication بنفسه أبداً في
الخلايا الحية.

خامساً ، العوامل الفيروسية ومدى تخصصها العائل

تصيب الفيروسات العديد من الأحياء ، فهي تهاجم النباتات
الزهرية واللازهرية بما في ذلك الفطريات والطحالب كما تهاجم الإنسان
والحيوانات المختلفة الفقارية (كالماشية و الطيور والأغنام والحيوانات
المفترسة وغيرها) . كما تصيب الفيروسات البكتيريا . وتسمى الفيروسات
التي تصيب البكتيريا باسم آكلات (لاقمات) البكتيريا Bacteriophages
وعادة ما يختصر هذا الاسم الى المقطع الأخير منه ، وهو كلمة فاج فقط ،
والفاج ينقسم الى نوعين : الفاجات الضارية Virulent Phages والفاجا
المعتدلة Temprate Phages.

والفاجات الضارية هي التي تسبب انفجار الخلايا مباشرة بعد
حدوث العدوى ... أما الفاجات المعتدلة فهي فاجات قد تسبب انفجار
الخلايا بعد حدوث العدوى ، وقد لا تسبب الانفجار ، ولكن تكسب
الخلايا القدرة الكامنة على التحلل Lysogenic . وفي الحقيقة فإن
جميع أنواع البكتيريا التي اختبرت حتى الآن وجد أنها تحتوى على
فاجات معتدلة . علاوة على حساسية كثير من البكتيريا للفاجات الضارية .

وعندما يكون الكائن الحي قابلاً للإصابة بالفيروسات ، فإنه قد
يصاب بعدد من أنواع الفيروسات . ولا يمكن عمل تعميم عمن مدى
العوائل Host range التي تصاب بفيروس ما .

فالفيروسات البكتيرية مثلا متخصصة لدرجة كبيرة جدا . بحيث أن إصابة نوعين مختلفين من البكتيريا بنوع واحد من الفيروسات يعطى انطبعا على أن هذين النوعين من البكتيريا وثيقتا العلاقة ببعضهما ، أما الفيروسات النباتية فدرجة التخصص فيها محدودة ، فالنوع الواحد من الفيروسات النباتية يتميز بقدرته على إصابة عدد كبير من العوائل ، ويختلف الوضع عن ذلك في الفيروسات الحيوانية ، فبعض الفيروسات الحيوانية شديدة التخصص مثل بعض أنواع فيروسات الميكسوما (المخاطية) Myxoma virus بينما تستطيع بعض الفيروسات الحيوانية إصابة حيوانات عديدة مثل فيروس داء الكلب Rabies . والملاحظ أن معظم الفيروسات الحيوانية يمكن زراعتها على أنسجة جنين الدجاج رغم أن العديد من هذه الفيروسات لا يصيب الدجاج نفسه .

سادسا ، أهمية دراسة علم الفيروسات .

الخسائر في الأرواح البشرية والخسائر الناتجة عن نفوق الحيوانات :

سببت الفيروسات التي تصيب الانسان هلاك اعداد كبيرة من بنو البشر على مر السنين مثل مرض الجدري ويسببه Pox virus الانفلونزا ويسببها Ortho Myxovirus والحمى الصفراء ويسببها Arbovirus والحصبة والغدد النكفية ويسببها فيروسات شبه مخاطية Paramyxovirus وغيرها من الأمراض .

ورغم أن الكثير من الأمراض الفيروسية قد اكتشفت مسبباتها ، فما زالت بعض أمراض السرطان Cancer وغيرها لم تكتشف مسبباتها رغم توفر الأدلة على أن هذه المسببات عبارة عن فيروسات . وكثير من الأمراض الفيروسية التي اكتشفت مسبباتها والتي لم تكتشف مسبباتها تسبب ازعاجا كبيرا للبشرية . ولا تنحصر الخسائر في الأرواح البشرية التي تفضي عليها الفيروسات ومصاريف العلاج التي تنفقها الدول واهدار الطاقات البشرية المستغلة في الصناعة والزراعة وغيرها .. بل كثيرا ما تسبب

الاصابات الفيروسية عاهات دائمة لدى المريض ... مثل مرض شلل الأطفال .

وتؤدى الفيروسات الى نفوق اعداد كبيرة من الحيوانات الأليفة والأسماك والدواجن والحشرات النافعة كالنحل ودودة الحرير وغيرها ، مؤدية الى خسائر اقتصادية فادحة ، ومن أمثلة ذلك مرض النيوكاسل (الشوطة) والذي تسببه بعض فيروسات ^{RUS} Paramyxovirus ومرض القسدم والفموي سببه فيروس Picorna والطاعون البقرى Rinder pest وغيرها ... هذا علاوة على أن بعض أمراض الحيوان تنتقل الى الانسان مثل امراض الانفلونزا Influenza والكلب Rabies والنيوكاسل New Castle وجدرى القروء Monkey Pox .

ولا تنحصر خسائر أمراض الحيوان الفيروسية فى الخسائر الاقتصادية فقط بل يتعداها الى اهدار كميات كبيرة من البروتين الحيوانى فى الوقت الذى يعانى فيه بنو البشر من نقص خطير فى هذا الغذاء الأساسى .

الخسائر فى المحاصيل الزراعية :

تصيب الفيروسات العديد من النباتات وتسبب خسائر اقتصادية فادحة فى كثير من المحاصيل الزراعية الهامة . ومن أمثلة ذلك ما حدث فى أمريكا الجنوبية خلال الفترة (١٩٣٦-١٩٤٨م) حيث أصيبت أشجار البرتقال المطعمة على أصول نارنج بمرض التدهور السريع Quick decline أو مرض الترستيزا Tristeza مما اضطر المزارعون الى اقتلاع وإزالة أكثر من ستة ملايين شجرة خلال تلك الفترة . ومن ولاية ساو باولو بالبرازيل وحدها اقتلع المزارعون أكثر من ٢٥% من أشجار البرتقال بها بسبب هذا المرض . هذا وتصيب الفيروسات الكثير من محاصيل الخضراوات والفاكهة والبقوليات والحبوب والمحاصيل الصناعية مثل البنجر السكرى وعباد الشمس وفول الصويا والقطن وغيرها بأمراض مختلفة مثل أمراض

التبرقش Mosaic or Mottling والتخطيط Streak والاصفرار
Yellows والبقع الحلقية Ringspots والتشوهات Distortions وموت
الخلايا (التنخر) Necrosis وغيرها ... وتؤدي معظم هذه
الأمراض إلى تدهور الانتاج النباتي مسببة خسائر مادية نتيجة نقص
المحاصيل من حيث الكم والنوع ، ونتيجة تعطل بعض الصناعات القائمة
على تلك المنتجات الزراعية ، علاوة على أن نقص محاصيل الغذاء
في وقت يزداد فيه خطر المجاعة بالنسبة للزيادة المستمرة في تعداد
السكان يشكل بعدا هاما لمشاكل الأمن الغذائي في العالم .

الخسائر في مصانع الأغذية الناتجة عن التخمرات :

تهاجم الفيروسات البكتيرية (الفاجات) مزارع البكتيريا المستخدمة
في انتاج بعض الأغذية مثل الألبان المخمرة والجبن ، مسببة خسائر
كبيرة لهذه الصناعات ، والمعروف أن كل سلالات البكتيريا التي فحصت
تحتوى على نسخ كامنة من المادة الوراثية لفيروسات بكتيرية معتدلة .
ومثل تلك المواد الوراثية الكامنة كثيرا ما تتحول إلى الحالة الضارفة
Virulent مسببة انحلال لخلايا المزرعة البكتيرية .

انتاج اللقاحات Vaccines والانتريفيرون Interferon

اللقاحات الفيروسية عبارة عن فيروسات كاملة لمرض ما تم اضعافها
أو تثبيطها كلها تثبيطا كاملا بالمواد الكيميائية كالفورمالدهيد ، بحيث
لا يستطيع أى جسيم منها احداث المرض ... بينما لا تفقد قدرتها على
تنشيط الخلايا المسئولة عن المناعة ... وبذلك يتكون لدى الجسم مناعة
فعالة عند اصابته بفيروسات نفس المرض .

أما الانتريفيرون ، فهو عبارة عن مواد مضادة للفيروسات تنتجها
عدد من الخلايا الحيوانية بعد حقنها ببعض الفيروسات . والانتريفيرون

عبارة عن بروتينات ذات وزن جزيئى منخفض تثبط تضاعف الفيروسات فى الخلايا ... وقد تم اكتشافها عند دراسة تأثير التداخل Interference الناتج عن مهاجمة فيروس لخلية مصابة أصلا بفيروس قبل ذلك ... ولذلك سميت المادة المضادة للفيروس الناتجة باسم انترفيرون Interferon وقد وجد أن الانترفيرون لا يتكون كرد فعل لغزو الخلايا بفيروسات نشطة فقط بل يتكون الانترفيرون أيضا عند غزو الخلايا بفيروسات تم تثبيطها بالأشعة أو عند غزو الخلايا بحمض نووى فيروسى . كما ثبت أنه يمكن انتاج كميات كبيرة من الانترفيرون باستعمال فيروسات تحدث أعراض خفيفة للإصابة المرضية Low virulence ... بينما يؤدى استعمال سلالات تحدث أعراض شديدة للإصابة المرضية high virulence الى انتاج كميات صغيرة من الانترفيرون . وربما يرجع ذلك الى أن الفيروسات التى تحدث أعراض شديدة للإصابة المرضية توقف بناء البروتين الخلوى قبل أن يتم تكوين كمية مناسبة من الانترفيرون .

كما يتكون الانترفيرون بواسطة عدد من جزيئات الحمض النووى ريبونيكليك رنأ المزدوج السلسلة Double-stranded RNA . وحيث أن الخلايا الطبيعية لا تحتوى على هذا الحمض النووى ، وأن هذا الحمض النووى لا يوجد الا فى الخلايا الحيوانية كمرحلة وسيطة لانتاج فيروسات رنأ RNA فى الخلية التى تم غزوها بهذا النوع من الفيروسات ، لذلك فقد اعتقد أن الحمض النووى رنأ المزدوج السلسلة هو الاشارات signals التى توجه الخلية لانتاج الانترفيرون .

وقد لوحظ أن الانترفيرون ليست مخصصة للفيروس ، ولكنها متخصصة للعائل مثلا الانترفيرون الذى ينتجه حيوان معين ، وليكن الدجاج كرد فعل على حقه بفيروس الانفلونزا سيكون مضادا للفيروسات الأخرى التى تغزو الدجاج ، ولكن معدوم التأثير أو ذو تأثير بسيط فى تثبيط فيروس الانفلونزا فى حيوانات أخرى غير الدجاج .

وليس للانترفيرون تأثير على الخلايا غير المصابة بأى فيروس ، حيث تقوم الخلايا بجميع وظائفها الحيوية على أكمل وجه دون تأثير على بناء الأحماض النووية الخاصة بالخلية . وفيما يبدو أن هذه الانترفيرون

تتداخل في ارتباط الحمض النووي رن أ RNA الخاص بالفيروس مع الريبوسومات ، وبالتالي توقف بناء بروتينات الفيروس ، ولا تؤثر الانتريرون على ارتباط الحمض النووي رن أ RNA الخاص بالخلية مع الريبوسومات وبالتالي لا تمنع بناء البروتين الخلوى . وقد يتبادر للأذهان أن الانتريرون تعتبر مادة مضادة للفيروسات مثالية ، ولكن ذلك ليس صحيحا للأسباب التالية :

(١) الانتريرون صعبة التنقية جدا ... لذلك فإن الحصول على كميات كبيرة منها لن تتوفر بسهولة .

(٢) ان فعل الانتريرون وقائى Preventive فقط وليس علاجى Therapeutic فليس لها تأثير لوقف فيروس فى خلية أصيبت فعلا وبدأ الفيروس فيها فى التضاعف . وربما يرجع ذلك الى أن معظم الفيروسات تثبط بناء البروتين الخلوى قبل بداية بناء المكونات الفيروسية ، وبذلك لا يمكن للانتريرون (وهو بروتين خلوى) ان يتكون .

(٣) الانتريرون فعال لفترة زمنية قصيرة نسبيا ، ولذلك يلزم تعاطيه بصفة مستمرة .

انتاج بعض النباتات ذات القيمة الاقتصادية :

تؤدى الفيروسات الى ظاهرة انكسار اللون فى بعض الأزهار مثل التيوليب Tulip ولو أن هذه الظاهرة هى فى الحقيقة مرضا فيروسيا ، إلا أن هواة الأزهار يشترون الأزهار بأثمان باهظة بما يزيد القيمة الاقتصادية لهذه الأزهار .

تفهم أسس الوراثة والبيولوجيا الجزيئية والهندسة الوراثية :

ان التجارب التى أدت الى فهم الأساس الكيميائى للتطفرة mutation على المستوى الجزيئى قد أجريت كلها اما على الفيروسات البكتيرية

(الفاج) أو بكتيريا القولون المعروفة باسم E. coli . كما أمكن تعريف الجين على المستوى الجزيئى ، فتمت علوم الكيمياء الحيوية Biochemistry والوراثة Genetics والبيولوجيا الجزيئية Molecular biology ثم استطاع بنزر Benzer بعد ذلك وضع خريطة للجين (rII) فى فاج تى ٤ (T 4) وبدأ علم الهندسة الوراثية Genetic Engineering والذي نما حديثا نموا كبيرا لدرجة أنه يمكن زرع جينات خاصة فى أحياء معينة للاستفادة منها اقتصاديا .

امكانية الاستفادة من الفيروسات فى مقاومة الآفات النباتية

(الحشرية والفطرية والبكتيرية) :

يمكن الاستفادة من بعض الفيروسات فى المقاومة الحيوية Biological Control لبعض الآفات النباتية الفطرية منها والحشرية . وما زالت البحوث فى هذا المجال محدودة . إلا أن النجاح فى التخلص لبعض الفيروسات ذات القدرة على إبادة بعض الحشرات والفطريات والبكتيريا الهامة سيوفر قدرا كبيرا من الأموال التى تستثمر فى إنتاج الكيمائيات المختلفة المستخدمة كمبيدات ، وليس هذا فحسب ، بل ان التوقف عن استعمال هذه الكيمائيات فى الإبادة سيقطع من الخسائر التى تحدث نتيجة تسمم الانسان والحيوان والأسماك بها ، كما سيكون ذلك تأثيرا هاما على البيئة التى نعيش فيها .

سابقا : المهنات العامة للفيروسات

وأصبحت كلمة فيروسات كما نعرفها اليوم عبارة عن عناصر وراثية موجودة فى أحد طورين أساسيين وهما :

(١) . الطور الداخلى : Intracellular phase

وهو عبارة عن تلك العناصر الوراثية دنا أو رنا فى صورة

متضاعفة أو ساكنة وفقا لحالة كلا من الخلية المائل Host Cell والفيروس والظروف البيئية .

(٢) الطور الخارجى : Extracellular phase

ووحدة تسمى فيروسون Virion . والفيروسون عبارة عن تركيب خاص يحتوى بداخله على حمض نووى دنا DNA أو رنا RNA ولا يحتوى أى فيروسون على كلاهما معا - ويسمى الحمض النووى أيا كان رنا أو دنا " لب " Core . ويغطى الحمض النووى بغطاء بروتينى Protein coat يسمى المحفظة Capsid مكون من وحدات بروتينية تسمى الكابسومرات Capsomeres .

والفيروسون حامل حيوى ، أى لا يستطيع التكاثر (التضاعف) أو التنفس أو التغذية أو غيرها من الوظائف الحيوية الهامة التى تقوم بها الخلايا الحية ، ولكن الفيروسون قادر على العدوى Infectious ، وهذا الفيروسون ذو حجم صغير جدا بحيث لا يمكن رؤيته حتى بالمجهر الضوئى العادى ، ويلزم لرؤيته استعمال المجهر الالكترونى . وينحصر دور الفيروسون (الطور الخارجى) فى حمل الحمض النووى (المادة الوراثية) الفيروسى من الخلية التى انتج فيها لخلية أخرى ليبدأ مرحلة أخرى داخل خلية جديدة من خلايا المائل حيث تنتج نسخ جديدة عديدة من جسيمات الفيروس بواسطة أنظمة الخلية المائل Host cell .

يمكن النظر الى الفيروسات من زاويتين مختلفتين . فيمكن النظر اليها على أنها مادة مرضية (تسبب الأمراض) كما يمكن النظر اليها على أنها مادة وراثية (تنقل صفات وراثية معينة) . فالفيروسات كمسبب للأمراض يمكنها غزو الخلايا الحية للانسان والحيوان والنبات والبكتيريا ، وارىاك نشاطها واحداث تغييرات ضارة فى هذه الخلايا .

كما أن الفيروسات يمكنها نقل صفات وراثية دائمة تتناقلها للأجيال . وهذه الصفات الوراثية ليست دائما ضارة ، وقد تكون أحيانا

نافعة ، ولا تقدر كل الفيروسات على أحداث هذين النوعين —
التغييرات . فبعض الفيروسات تعمل كمادة مرضية فقط ، وبعضها يستطيع
القيام بالتغييرين (أحداث المرض أو نقل الصفات الوراثية) . وفي عدد كبير
من الحالات يتوقف التغيير الذي يحدثه الفيروس على الخلية العائل
وعلى الظروف البيئية .

وتختلف الفيروسات في الشكل والحجم (الوزن الجزيئي) والتركيب
الكيميائي وطريقة التضاعف (التكاثف) وطريقة غزو خلايا العائل ،
وطريقة تكوين فيروسات جديدة . ولكن معظم الفيروسات على درجة
كبيرة من التخصص بالنسبة للعائل ، فالفيروسات التي تصيب حيوانا
ما لا تصيب حيوانا آخر ، بل أن الفيروسات التي تصيب نسيجا معينة
لا تصيب نسيجا أخرى . وسنعرض هنا الصفات الطبيعية والكيميائية العامة
للفيروسات ، أما الصفات البيولوجية فسيتم مناقشتها منفصلة في الأبواب
الخاصة بالفيروسات البكتيرية والنباتية والحيوانية — كل على حدة .

الصفات الطبيعية للفيروسات :

١ — شكل الفيروسات : Shape of Virions :

يختلف شكل الفيروسات في طورها الخارجى (الفيروسات) اختلافا
كبيرا ويمكن تقسيم الفيروسات الى ثلاث مجاميع أساسية وفقا لشكلها .

أ — الشكل الحلزوني : Helical

تأخذ الفيروسات الحلزونية أشكالا عديدة (جدول ١٣ — ٢) على
حسب ما اذا كانت مغلفة Enveloped بغلاف خارجى أم لا ... أو
أنها ذات تعبئة منتظمة أو غير منتظمة داخل الغلاف . لذلك ، فالفيروسات
الحلزونية قد تكون عصوية Rod-shaped أو خيطية filamentous
، أو مثل شكل الرصاصة Bullet-shaped وغيرها من الأشكال . وفيروسات
مرض تبرقش الدخان (TMV) Tobacco Mosaic Virus تمثل
أبسط وأشهر الأشكال (شكل ١٣ — ٢) .

جدول ١٣-٢ : الصفات الطبيعية للفيروسات : الشكل العام والحجم والوزن الجزيئي .

أمثلة Virus groups and representatives	الوزن الجزيئي بالدالتون Molecular Weight (Dalton)	القطر بالنانومتر nm		الشكل العام General feature		
		الفيروس Virion	الحمض النووي Nucleic acid	الشكل العام Morphol- ogy	مغلف أو Naked or enveloped	تماثل المحطة Capsid symmetry
كثيرا فيروسات نباتية مثل : فيروس تبرقش الدخان TMV وفيروس اكس البطاطس	١٠ × ٢	٢٠ - ١٥ ٢٠٠ ×		عمود أو خيطي	مغلف Naked	حلزونية Helical
Orthomyxovirus مثل فيروسات الانفلونزا	١٠ × ٢	١٢٠ - ٨٠	٩ - ٦	كروي	مغلف Enveloped	حلزونية Helical
Metamyxovirus Paramyxovirus مثل فيروس مرض النينو كامل والفقد التكميلية mumps وفيروسها .	١٠ × ٨ - ٤ ١٠ × ٧	٢٠٠ - ١٠٠ ٢٥٠ - ١٠٠	١٥ - ١٢ ١٨	كروي إلى بيضاوي	....	....
Pseudomyxovirus مثل فيروس مرض الحمى .	١٠ × ٧	٢٠٠ - ١٠٠	١٨		..	..
Rhabdovirus مثل فيروسات مرض الكلب	١٠ × ٥ - ٢	١٨٠ - ٧٠ أو أطول	١٨	شكل الرمح Bullet أو مخروطي Conical		
Coronavirus مثل فيروس التهاب الشعب التهوائية الممدى في الدجاج		١٢٠ - ٨٠	٢	شكل الكمثرى Pear- shaped		
Leukovirus مثل فيروس سرطان الدم في الأبقار	١٠ × ١٢ - ١٠	١٠٠ - ٥٠	٢	شكل خيطي منظم		

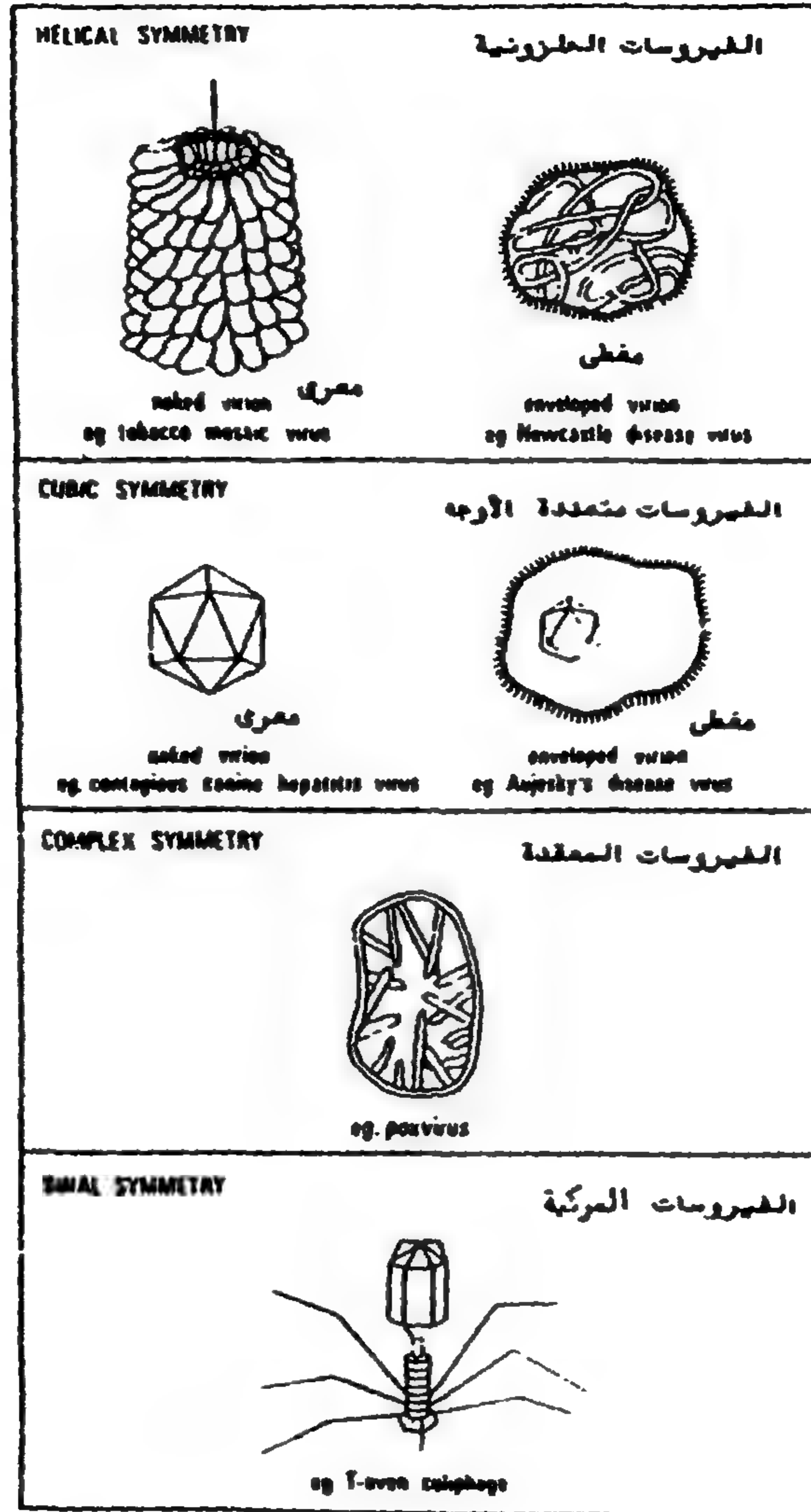
تابع جدول ١٣-٢ : الصفات الطبيعية للفيروسات : الشكل العام والحجم والوزن الجزيئي .

أمثلة Virus groups and representatives	الوزن الجزيئي Molecular weight (Dalton)	القطر الفيروس بالنانومتر Diameter (nm) Virion	General feature			الشكل العام تماثل المحلظة Capsid symmetry
			متعدد الكابسومات	الشكل الظاهري morpho- logy	مغشاء أو مغطاء Naked, or enveloped	
Picornavirus مثل فيروس مرض شلل الاطفاس .	10×10^6	٢٠ - (١٨)	٦٠ أو ١٨٠	متعدد الأوجه	مغشاء Naked	متعدد الأوجه Icosahedral
Rhinovirus مثل فيروس مرض القدم والقلم (الحصى القلاعية)	10×10^6 - 2×10^7	٢٠ - ٢٠				تحتوي على RNA
Calicivirus مثل فيروسات	10×10^6	٢٥ - ٤٠	٦٠ × ١ أو ٦٠ × ٢	متعدد الأوجه الكابسومات مقعر		
Reovirus Rotavirus مثل فيروس مرض الاسهال الحاد في العجول الصغيرة . Calf Orbivirus مثل فيروس الحصان الأنزرق ومرض الحصان الأنزرق .	10×10^6 - 1×10^7	٦٠ - ٧٥ ٦٠ - ٦٦ ٥٢ - (٦٨) (٨٠)	١٢ (١٨٠)	دو قطبين واحد واحد واحد		
Togavirus مثل فيروس مرض الحصان الأنزرق ومرض الحصان الأنزرق .	10×10^6 - 2×10^7	٢٠ - ١٠٠	٢٢		مغشاء	متعددة الأوجه تحتوي على RNA

تابع جدول ١٣-٢ : الصفات الطبيعية للفيروسات : الشكل العام والحجم والوزن الجزيئي .

أمثلة virus group and Representatives	الوزن الجزيئي Molecular weight (Dalton)	قطر الفيروس بالنانومتر Diameter of Virion (nm)	الشكل العام General Feature			
			معدن الكابسومات No. of Capsomers	الشكل الظاهري Morpho- logy	معراء أو مغطاء Naked or enveloped	تماثل المحلفة Capsid symmetry
Parvovirus	$10 \times 10^4 - 1.2 \times 10^5$	25×18	٢٢ (١٢) أو ٢٢	متعددة الأوجه	معراء	متعددة الأوجه تحتوي على DNA
Polyomavirus مثل فيروس مرض شلل الاطفال .	$10 \times 10^5 - 2.2 \times 10^6$	$40 - 50$	٧٢	...	معراء	...
Adenovirus	$10 \times 10^5 - 2 \times 10^6$	$70 - 90$	٢٥٢	...	معراء	...
Herpes virus مثل فيروسات الهربس	$10 \times 10^5 - 1.5 \times 10^6$	بالغلاف $150 - 200$ عند إزالة الغلاف	١٦٢		مغطاء	متعددة الأوجه تحتوي على DNA
T even phages مجموعة فيروسات ش ذاب الأرقام المزدوجة والفيروس لاميدا . وكلها تصيب بكتيريا القولون . <u>E.coli</u>				مركب أو معدن يتكون من رأس وديل قابل للانقباض للفات ذيلية	معراء	Binal مركب Complex أو معدن تحتوي على DNA
Poxvirus مثل فيروسات الحدر	$10 \times 10^6 - 1.2 \times 10^7$	$70 - 250$ \times 200×220	-	شكل معدن	مغطاء	مركب أو معدن تحتوي على DNA
Parapoxvirus مثل فيروسات الأورم		$70 - 250$ \times 200×220	-	شكل معدن (مثل كرة المرمي)	مغطاء	...

شكل ١٣-٢ : رسم تخطيطي يوضح شكل الفيروسات الحلزونية ومتعددة الأوجه المغطاة والمعراة وكذلك الفيروسات المعقدة والمركبة .



بـ الشكل عديد الأوجه : Icosahedral

تبدو كثير من الفيروسات في صورة كروية spheres أو ذات —
شكل مكعبى Cubic (جدول ١٣-٢) ، ولكن الفحص الدقيق لهذه
الأشكال يوضح أن هذه الفيروسات ذات شكل جيومتري Geometrical

خاص متماثل المحاور Isometric يشبه الكرة ، ولكن له أوجه عديدة مثلثة الشكل مستديرة الأركان ، ويسمى هذا الشكل باسم عديد الأوجه Icosaheral أو عديد الأسطح Polyherdral ، ويخضع تكون هذه الأشكال الجيومترية لقوانين التبلور Crystallography فأصغر كرة متعددة الأوجه تحتوى على ١٢ ركن corner و ٢٠ وجه مثلث و ٣٠ ضلع . والفيروسات متعددة الأوجه تأخذ هذه الأشكال نتيجة لترتيب الوحدات البروتينية Protein subunits المعروفة باسم الكابسومرات Capsomers فى ترتيب خاص يسمى المحفظة Capsid أو الغطاء البروتينى Protein coat حول الحمض النووى الذى يشكل لب Core الفيرون .

وقد تكون الفيروسات عديدة الأوجه — أيضا — بدون غلاف خارجى (معرأة) Naked مثل الفيروسات التابعة لعائلة Parvo-viruses مثل فيروس الأدينوساتاليت Adenosatallite وفيروس الكوليفاج فاي أكس ١٧٤ (Coliphage ØX. ١74) والفيروسات التابعة لعائلة بابوفا Papova viruses مثل فيروس البوليئوما Polyoma وفيروس البابيلوما Papilloma virus . كما أن بعض الفيروسات عديدة الأوجه المعرأة قد تحتوى على زوائد spikes خاصة عند رؤوس المثلثات كما فى فيروسات ادينو Adenoviruses وقد تكون الفيروسات عديدة الأوجه مغلفة (مغطاة) enveloped بغلاف خارجى يشبه فى تركيبه الأغشية الخلوية ، ومن أمثلة فيروسات هذه المجموعة الفيروسات التابعة لعائلة Herpesviruses مثل فيروس هربس سبلكس Herpes simplex ... ويوضح الشكل (١٣-٢) رسما تخطيطيا لتوضيح كلا من الفيروسات الحلزونية ومتعددة الأوجه المعرأة والمغطاة .

جـ — الشكل المركب Binal أو المعقد Complex

ويكون بعض أجزاء الفيرون حلزونية والبعض الآخر متعدد الأوجه مثل الفيروسات التى تهاجم بكتيريا القولون والمعروفة باسم تى مزدوجة الأرقام T even phage وهى تتكون من رأس ذو شكل عديد الأوجه

وذيل حلزوني Helical قابل للانقباض Contractile tail وليفسات ذيلية Tail fibers (شكل ١٣-٢) . ويعمل الذيل والليفات الذيلية على امتزاز الفيروس للخلية العائل دون غيرها ، وكذلك على حقن الحمض النووي داخل العائل ، ويتبقى البروتين المكون للرأس والذيل والليفات الذيلية خارج الخلية .

ومن أمثلة ذلك - أيضا - فيروسات الجدري Poxviruses وهى تحتوى على جسم داخلى يسمى شبيه النواة Nucloid وشبيه النواة محاط بغشاء مزدوج . مع وجود أجسام جانبية مستديرة Lateral bodies حول شبيه النواة ... أما الغطاء الخارجى للفيروس فيحتوى على شعيرات أنبوبية من البروتين ، ويختلف ترتيبها على حسب المجموعات المختلفة للفيروس ، حيث يعطى شكل ثمرة التوت أو شكل كرة الصوف ويمكن مراجعة أشكال الفيروسات بأحجامها التقريبية فى جدول (١٥-٢) ...

٢- حجم الفيروسات: Size of virions

تختلف الفيروسات فى حجمها كثيرا ، فهى تتراوح ما بين ١٠-٢٥ نانومتر (١ نانومتر = 10^{-9} متر) . فحجم الفيروسات الصغيرة مثل ام . اس ٢ (MS2) أصغر من حجم جزيئات البروتين الكبيرة ، مثل البيومين البيض مثلا ، ولو أن أكبر الفيروسات مثل (الفاكسينيا Vaccinia) تكاد تصل فى حجمها الى حجم أصغر الخلايا البكتيرية مثل المايكوبلازما أو الركتسيا أو الكلاميديا . ويوضح الجدول (١٥-٢) أمثلة للفيروسات المختلفة وأشكالها وأحجامها التقريبية .

٣- الوزن الجزيئى للفيروسات: Molecular weight of virions

يختلف الوزن الجزيئى للفيروسات اختلافا كبيرا باختلاف محتواها من الأحماض النووية والبروتينات وغيرها من المكونات ويصل الوزن الجزيئى لأكبر الفيروسات حوالى مائة مرة قدر الفيروسات الصغيرة ، حيث يتراوح

الوزن الجزيئي للفيروسات المختلفة من 10×10^6 الى 10×10^8 دالتون .
والجدول (١٤-٤) يوضح الوزن الجزيئي لبعض الفيروسات .

ثامناً: تنقية الفيروسات وطرق دراستها

١ . تنقية الفيروسات :

تختلف طرق تنقية الفيروسات عن طرق تنقية الأحياء الدقيقة الأخرى لدقتها المتناهية ، وبالرغم من امكان التعرف على عدة مشات من الأمراض الفيروسية ، فقليل من هذه الفيروسات أمكن عزلها وتنقيتها بدرجة عالية ، والسبب الرئيسي لذلك هو أن الفيروسات تتضاعف داخل الخلايا الحية فقط ، فتختلط مكونات الفيروسات مع مكونات الخلايا المصابة ، وقد تمتاز الفيروسات أو تلتصق مع المكونات الخلوية اما قبل أو أثناء التنقية . كما أن جسيمات الفيروسات قد تتجمع مع بعضها مكونة كتل Clumps تفقد بسهولة مع الشوائب الخلوية أثناء خطوات التنقية الأولى . كما تتلخص صعوبة تنقية بعض الفيروسات في وجودها على صورة غير ثابتة unstable أو صورة حمض نووي حريذون غطساء بروتيني . وأحياناً يكون تركيز الفيروس منخفض جداً في أنسجة العائل مما يسبب صعوبة تنقية الفيروس وعزله .

ومع ذلك فقد أمكن عزل وتنقية بعض الفيروسات ، وعلى أي حال فان كل فيروس له من الصفات ما يحدد صعوبة أو سهولة عزله وتنقيته مثل طبيعة العائل والحالة الخلوية وسلالة الفيروس وغيرها . وتعتمد تنقية الفيروسات على صفتين هامتين :

أ- الغلاف الخارجي :

وهو يتكون عادة من البروتينات ، لذلك فكثير من طرق التنقية

تعتمد على طرق تنقية البروتينات .

ب - الصفات الفيزيائية للفيروسات :

فالفيروسات لها حجم وشكل وكثافة تؤدي الى ترسيبها على $40000 \times g$ مرة قدر الجاذبية الأرضية أو فصلها بالترشيح من خلال مرشحات ذات ثقب محددة القطر .

ولبيان كفاءة طريقة التنقية من الضروري تقدير قدرة الفيروس على أحداث العدوى خلال خطوات التنقية المختلفة . وكذلك من الضروري معرفة تأثير بعض العوامل مثل تغير pH ودرجة الحرارة وتأثير الأملاح والمواد الكيميائية المختلفة . وفي حالة عدم توفر هذه المعلومات فيمكن بدء التنقية على درجة $4^{\circ}C$ وعلى درجة $pH 7$ في محلول منظم فوسفاتي تركيزه 0.1 ر الى 1 ر مولر أو في محلول رنجر ، ويمكن تلخيص طرق تنقية الفيروسات فيما يلي :

أ - التنقية بالطرد المركزي - الطرد الكثافي المتدرج :

Differential centrifugation and density gradient centrifugation

وهي تعتمد على فصل جسيمات الفيروس جزئيا أو كليا على أساس كثافتها في وسط خالي من تيارات الحمل أو المؤثرات التي تؤدي إلى إعادة اختلاط مكونات السائل المحتوي على الفيروسات ، وتستخدم لذلك محاليل السكر أو كلوريد السيزيوم حيث يترسب الفيروس حسب كثافته جسيماته وشكلها وحجمها عند تعريضه لطرد مركزي يتراوح بين $40000 \times g$ (ج) مرة قدر الجاذبية الأرضية لمدة $1-2$ ساعة على درجة حرارة منخفضة . ثم تجمع طبقة الفيروس بعد ذلك من ثقب في أسفل الأنبوبة في أنابيب اختبار متعددة . ثم تختبر العدوى من الأنابيب المختلفة للحصول على الأنبوبة التي بها أعلى كمية من الفيروس .

ب - التنقية بطرق الترسيب: Precipitation methods

من أكثر طرق الترسيب شيوعاً هي استخدام ملح كبريتات الألومنيوم وهو ملح معروف في ترسيب البروتينات نتيجة فعله (Hydration) على البروتينات وتأثيره على الشحنات الكهربائية التي يحملها البروتين . كذلك تستخدم أملاح أخرى مثل كبريتات المغنسيوم وكذلك بعض الكحولات مثل كحلول الايثانول أو المذيبات العضوية الأخرى كالبيوتانول والكلوروفورم . وقد يكون الترسيب إما للفيروس نفسه أو للشوائب المختلطة معه ، وطريقة الترسيب طريقة سريعة وبسيطة ولكنها غير دقيقة وتؤدي إلى تجميع بروتينات الفيروس ، وتعتبر طريقة الترسيب عموماً وسيلة لتركيز الفيروسات في المحاليل المخففة لها .

ج - التنقية بطرق الامتزاز: Adsorption methods

وذلك بامتزاز الفيروس أو الشوائب المختلطة معه على مواد مختلفة مثل فوسفات الألومنيوم أو فوسفات الكالسيوم أو هيدروكسيد الحديد أو هيدروكسيد الألومنيوم أو الكاؤولين أو الصلصال أو الفحم النشط أو الألومنيا أو الشيتين أو كرات الدم الحمراء أو الداكسترات المختلفة أو أي مادة ممتازة ومتوفرة يمكن استعمالها . وطرق التنقية بالامتزاز غير كافية ويلزم استخدامها مع طرق تنقية أخرى .

د - التنقية بالانزيمات: Enzyme methods

تستخدم الانزيمات المحللة للبروتينات والتي لا تؤثر على بروتين الفيروسات في إزالة كثير من الشوائب المختلطة مع الفيروسات ، كما تستخدم الانزيمات المحللة للأحماض النووية أيضاً لإزالة الأحماض النووية الحرة المختلطة مع الفيروسات دون التأثير على الفيروسات .

هـ - التنقية باستخدام المصل المضاد : Antiserum method

أحيانا يستعمل المصل لترسيب بروتينات العائل (الشوائب) وأحيانا يستخدم المصل لترسيب الفيروس نفسه ، وفي كلا الحالتين يستخدم الطرد المركزي التفريقي أو طريقة أخرى لفصل الشوائب أو الفيروس من الخليط . وعند وجود الفيروس مرتبطا مع بروتينات المصل المضاد فان المعاملة بالانزيمات تؤدي الى التخلص من البروتينات المرتبطة بالفيروس.

و - التنقية باستخدام الهجرة في مجال كهربى : Electrophoresis

تختلف قوة جذب الفيروسات والشوائب المختلطة معها السى قطبى مجال كهربى على حسب كمية الشحنات الكهربائية ونوعها الموجودة على الفيروسات أو على الشوائب عند درجة معينة من تركيز الأس الأيدروجينى pH وتستخدم هذه الطريقة فى تنقية الفيروسات على الأوساط الصلبة مثل Electrophoresis أو شرائط الورق Paper strips.

ز - التنقية بالفصل الكهروماتوجرافى الهلامى :

Gel chromatography

يستخدم لذلك أنواع من الهلام مثل الأجاروز Agarose والدكسترانات Dextrans والبولى أكريلاميد Polyacrylamide وهى مواد ذات ثقب مختلفة الأقطار . وعندما يمر خلالها خليط من المواد ذات أحجام مختلفة خلال عمود الهلام (الجل) فان الجزيئات الصغيرة تنفذ خلال الهلام وتخرج ، بينما الجزيئات الكبيرة لا تنفذ خلال الهلام وتخرج بسرعة ، وبهذه الطريقة يمكن فصل الجزيئات على حسب حجمها .

ويمكن استخدام هذه الطريقة لفصل الفيروسات الى مجاميع على حسب حجمها .

ح - التنقية بطريقة تلازن الدم : Haemagglutination

تستخدم هذه الطريقة لتنقية الفيروسات التي لها القدرة على تلازن كرات الدم الحمراء مثل فيروسات الانفلونزا والنيوكاسل عن غيرها من الفيروسات أو الشوائب التي ليس لها مقدرة تلازن الدم ، حيث يضاف مخلوط الفيروس الى معلق ١٠ ٪ كرات الدم الحمراء المغسولة ثلاث مرات في محلول ملح فسيولوجي معقم ، ويترك الخليط على درجة ١٨م أو ٤م لمدة ٣٠ - ٦٠ دقيقة حتى تحدث عملية التلازن ، ثم يوضع المحلول في جهاز الطرد المركزي (١٠٠٠ لفة في الدقيقة / لمدة خمس دقائق) ويفصل المحلول الرائق في أنبوبة معقمة ، أما كتل كرات الدم الحمراء فتترك على ٣٧م ، حتى تنفصل الفيروسات عن كرات الدم الحمراء بفعل انزيم النيورامينيداز الموجودة على غلاف فيروسات الانفلونزا والنيوكاسل . ثم يطرد الخليط بعد ذلك مرة أخرى بفصل الكرات الحمراء الراسبة في أسفل الأنبوبة عن الفيروس في السائل .

تهدف كل طرق التنقية السابقة الى الحصول على تحضير نقى متجانس بهدف دراسته ، وتفيد اختبارات العدوى في التعرف وتشخيص الفيروسات المختلفة .

وبعض الطرق المتبعة لتقدير درجة التجانس في التحضيرات الفيروسية هي :

- أ - معدل الترسيب في الطرد المركزي العالي السرعة .
- ب - الفحص بالمجهر الالكتروني .
- ج - قياس درجة الهجرة في مجال كهربى Electrophoresis
- د - الاختبارات المصلية
- هـ - معايرة العدوى .
- و - استخدام التصوير بأشعة اكس .
- ز - اختبارات الذوبان .
- ح - القابلية للتبلور .

ويجب الإشارة الى ضرورة استخدام أكثر من طريقة للتأكد من التجانس... اذ أن بعض التحضيرات قد تكون متجانسة في بعض الخواص ، ولكنها غير متجانسة في خواص أخرى .

٢- الطرق الفيزيوكيميائية لدراسة الفيروسات:

سبق الإشارة الى الشكل والحجم والوزن الجزيئي للفيروسات . كما أن الجدول (١٣-٢) وضع الشكل العام للفيروسات والقطر بالنانوميتر لكل من الفيرون نفسه والحمض النووي الداخل في تركيبه ، وكذلك الوزن الجزيئي لجسيمات الفيرون .

ويجرى تقدير الوزن الجزيئي بالتون ، وهو وزن ذرة الهيدروجين والتي تعادل 1.67×10^{-24} جرام . ويمكن تقدير الوزن الجزيئي بالفصل الكروماتوجرافي الهلامي Gel chromatography أو الهجرة في مجال كهربائي Electrophoresis مع استعمال منحنى قياسي لعدد من البروتينات أو المركبات العضوية ذات الجزيئات الكبيرة Macromolecules المعلومة الوزن الجزيئي ... أما تحديد الحجم وشكل جسيمات الفيروس فيتم تحديده بأحد الطرق التالية :

أ- الترشيح خلال مرشحات ذات مسام متدرجة القطر:

تستخدم حالياً مرشحات ذات قطر محدد بدقة مثل المرشحات ذات الغشاء الرغوي Collodion membrane أو ذات الغشاء المركب من خلاات السليلوز ، ويتراوح قطر الأغشية المستخدمة في قياس حجم جسيمات الفيروس بين ١٠ نانوميتر الى ٣ ميكروميتر ، ومن أهم مزايا هذه الأغشية أنها غير سامة للفيروسات ، ولا تغير درجة تركيز الهيدروجين للوسط المحتوي على الفيروس ، ولا تمتز كميات كبيرة من الفيروسات أثناء عملية الترشيح ، ومن عيوبها عدم تجانس حجم مسام هذه الأغشية ، ولذلك يحسب متوسط قطر المسام .

وقد تمكن الباحثين — حديثا — من ايجاد نظام مرشحات فائقة الدقة Ultrafiltration system تتميز بأقطار محددة ومعروفة تماما بأرقام ثابتة ومتسلسلة وتعرف — تجاريا — باسم Amicon ultrafiltration system.

ب — الترسيب بالطرد المركزي الفائق السرعات:

High speed centrifugation

تعتمد طرق قياس الحجم وكثافة الفيروسات بهذه الطريقة على أساس أن سرعة ترسيب الجسيمات في مجال طرد مركزي على حجم وكثافة الجسيمات المعلقة وكثافة المحلول المعلق فيه .

ويمكن حساب حجم الفيروس من كثافة ولزوجة السائل الموجودة به الجسيمات والمسافة بين محور الدوران وسرعة الدوار Rotor . كما تستخدم طرق الطرد الكثافي المتدرج وطرق الهجرة في مجال كهربائي والفصل الكروماتوجرافي لتقدير حجم الفيروسات أيضا وفقا لما هو متبع في تقدير حجم الجزيئات الكبيرة كالبروتينات .

ج — المجهر الإلكتروني :

سبق شرح المجهر الإلكتروني في الفصل الثالث ، وتمت الاشارة الى طرق الصبغ السالب والتظليل بالمعادن ، ويستخدم المجهر الإلكتروني بكفاءة عالية في قياس حجم وشكل الفيروسات .

تاسعا : الفيرويدات : Viroids

وهي كائنات أصغر حجما من الفيروسات ، وتسبب عددا من أمراض النبات الهامة مثل الدرنه المغزلية في البطاطس Potato spindle tuber ، وكان يعتقد أنها فيروسات صغيرة ، ولكن ثبت أ

هذه الفيرويدات تتكون من جزيئات رنأ صغيرة وحيدة السلسلة وربما تكون مزدوجة السلسلة في بعض أجزاء منها ، وليس لها غطاء بروتينى (محفظة) كتلك المعروفة فى الفيروسات .

والوزن الجزيئى لهذه الفيرويدات يتراوح ٧٥٠٠٠—١٠٠,٠٠٠ دالتون ، ويبدو أن هذه الفيرويدات تنتقل transmitted أفقيا horizontally من نبات الى نبات بالطرق الميكانيكية كما تنتقل رأسيا vertically من خلال حبوب اللقاح pollen أو البويضات Ovules. وليس معروفا الآن بدقة ما اذا كانت هذه الفيرويدات تؤثر على خلايا العائل مباشرة أو عن طريق تكوين سلسلة ببتيدية مترجمة من المعلومات الوراثية على الحمض النووى رنأ . كما أن طريقة تضاعف هذه الفيرويدات فى الخلايا العائل مازالت محل بحث ودراسة .

وجود هذه الفيرويدات فى الخلايا الحيوانية مازال سؤالا مطروحا أمام المختصين فى هذا المجال . وحتى ان وجدت فهل تنقل أمراضا معينة من شخص لآخر أو أنها تتكون نتيجة لاصابة فيروسية ؟

والمعلومات المتوفرة عن هذه الكائنات مازالت محدودة جدا .

الفصل الرابع عشر

التركيب الكيميائي للفيروسات

Chemical Composition of Viruses

تتبادل الفيروسات أثناء دورة حياتها طورين أساسيين . أحدهما خارج الخلية العائل Extracellular Phase والثاني داخل الخلية العائل Intracellular Phase والطور الخارجي عبارة عن جزيء خامل ، ويسمى الفيريون ، وهو قادر على إصابة الخلايا الحساسة له . ويحتوى الفيريون عادة على نسخة واحدة من الحمض النووى الريبوزى (رن أ) RNA أو الحمض النووى الدي أوكس ريبوزى (دن أ) DNA ، والحمض النووى الموجود فى جسيم الفيريون هو لب Core الجسم الفيروسى ، ولا يحتوى الفيريون على أكثر من حمض نووى واحد ، أما الحمض النووى الريبوزى (رن أ) RNA أو الحمض النووى الدي أوكس ريبوزى (دن أ) DNA . ويحاط الحمض النووى لجسيم الفيريون بغطاء : بروتينى Protein Coat يسمى المحفظة Capsid . وكثير من الفيروسات المعروفة لا تزيد فى تركيبها عن ذلك ، وتسمى مثل هذه الجسيمات بال Nucleocapsid أما بعض الفيروسات الأخرى مثل بعض الفيروسات الحيوانية ، فان النيكليوكابسيد Nucleocapsid يغلف بغلاف خارجى envelop وكثيرا ما يشبه الغلاف الخارجى فى تركيبه الغشاء الخلوى للخلايا العائل ، أما الطور الداخلى للفيروسات Intracellular Phase فهو يتواجد داخل خلايا العائل على صورة حمض نووى آخذ فى التضاعف تمهيدا لتكوين فيروسات جديدة ، وتتوقف الصورة التى يوجد عليها الطور الداخلى على طول الفترة التى مضت منذ وقت حدوث غزو الخلية بالفيروس . فخلال الطور الداخلى لا يتم تضاعف المادة الوراثية للفيروسات (الأحماض النووية) فقط ، بل أن هذه المادة الوراثية تعمل كأساس (كقالب) وراثى لبناء بروتينات المحفظة (الغطاء البروتينى) لجسيمات الفيروسات .

وفى ما يلى نناقش كل مكون من مكونات الفيروسات :

أولاً ، الأحماض النووية : Nucleic acids

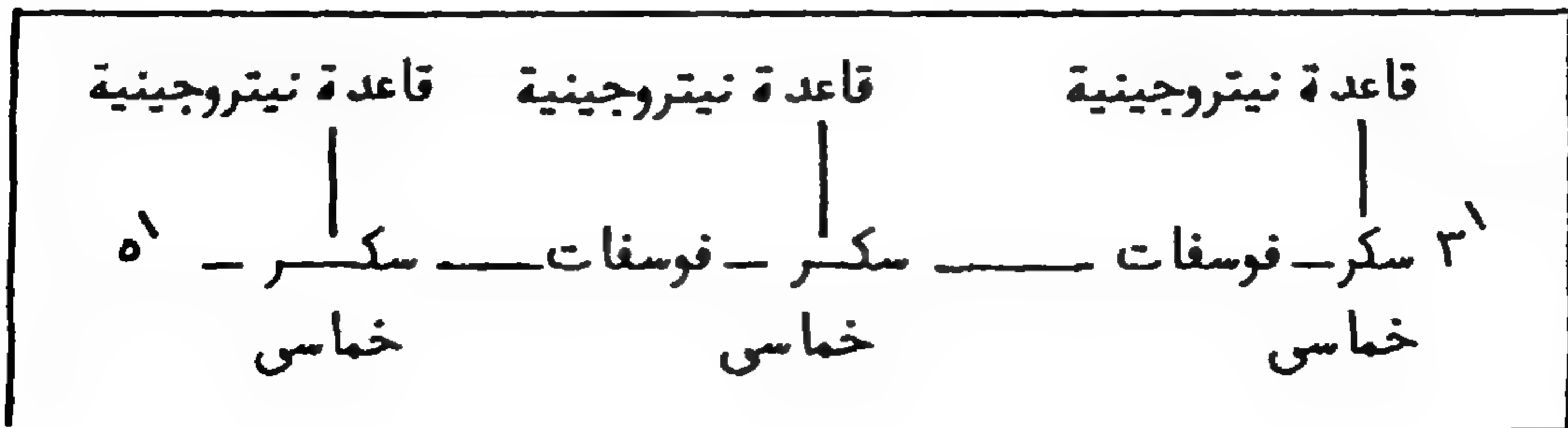
تعتبر الأحماض النووية أهم المكونات الكيميائية للفيروسات ، وذلك لكونها تحمل المعلومات الوراثية للفيروسات وغيرها من الكائنات ذات التركيب الخلوي ، وذلك لأنها مسئولة عن حمل وانتقال التعليمات الجينية (الصفات الوراثية) . كما أنها تتحكم في ترجمة هذه التعليمات عند تكوين البروتينات المختلفة بالخلايا ، وذلك بتحكمها في ترتيب وتتابع الأحماض الأمينية لكل بروتين يتكون بكل خلية . والأحماض النووية لها وزن جزيئي مرتفع حيث أنها عبارة عن نيوكليوتيدات عديدة Polyn- ucleotides وحدتها البنائية هي النيوكليوتيدات .

مكونات الأحماض النووية

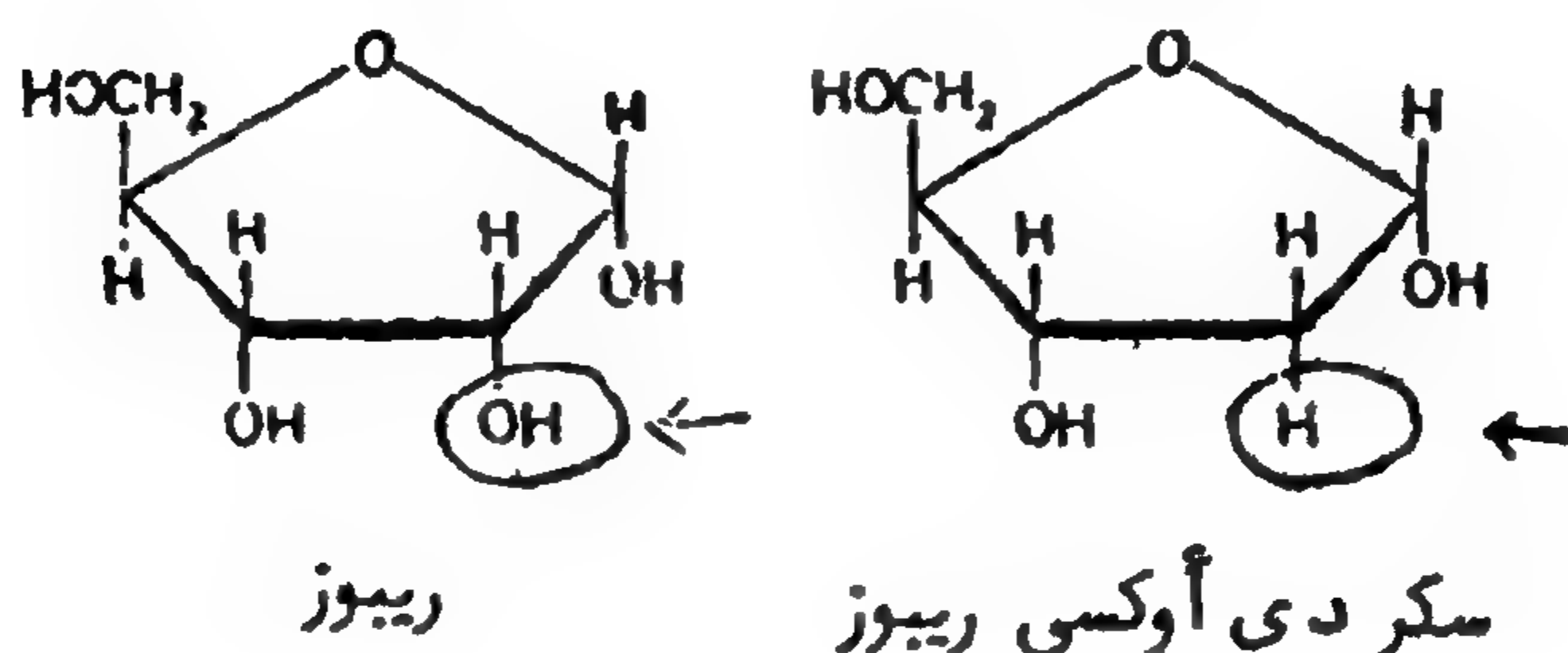
يوجد نوعين من الأحماض النووية هما الحمض النووي / الـدي أوكس ريبوزي Deoxyribonucleic acid ويرمز له عادة بالرمز (دن أ) DNA والآخر هو الحمض النووي الريبوزي Ribonucleic acid ويرمز له عادة بالرمز (رن أ) RNA .

ويتكون الهيكل الأساسي لهذين النوعين من الحمضين النوويين من سلاسل بها جزئيات فوسفات وسكر خماسي بالتبادل (شكل ١٤-١)

شكل ١٤-١ : الهيكل البنائي للأحماض النووية



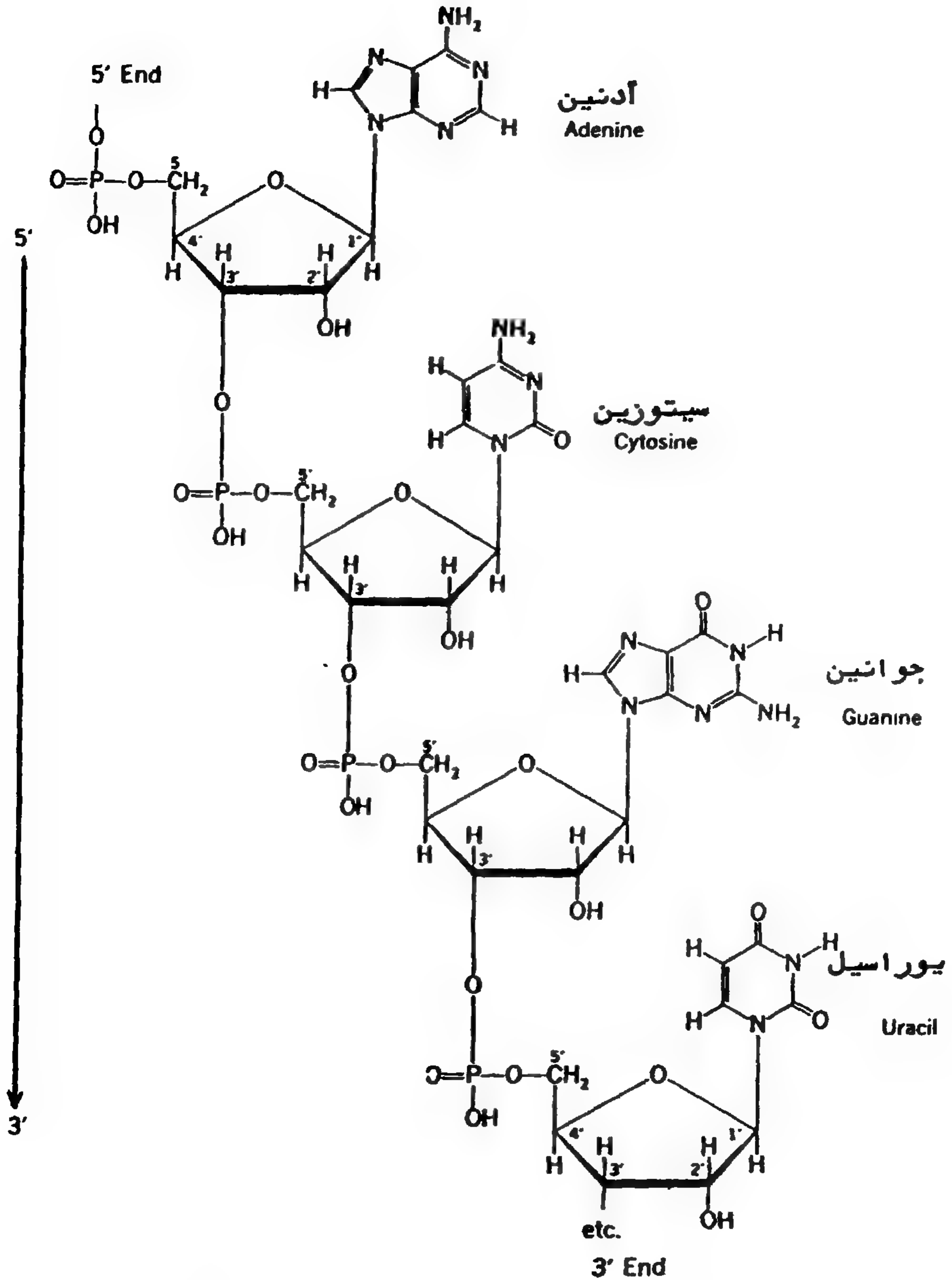
ويتصل بكل جزئ من جزئيات السكر قاعدة نيتروجينية اما من نوع البيورين أو البريميدين ، والسكر الموجود بجزئ الحمض النووي رنأ RNA هو سكر الريبوز ، بينما في جزئ الحمض النووي دنأ DNA فان السكر الموجود هو سكر دى - أوكس - ريبوز Deoxyribose وتعنى أنه سكر ريبوز منزوع منه ذرة أوكسجين من ذرة الكربون رقم ٢ ، ويوضح الشكل ١٤-٢ التركيب البنائى لكلا من الريبوز والدى - أوكس - ريبوز .



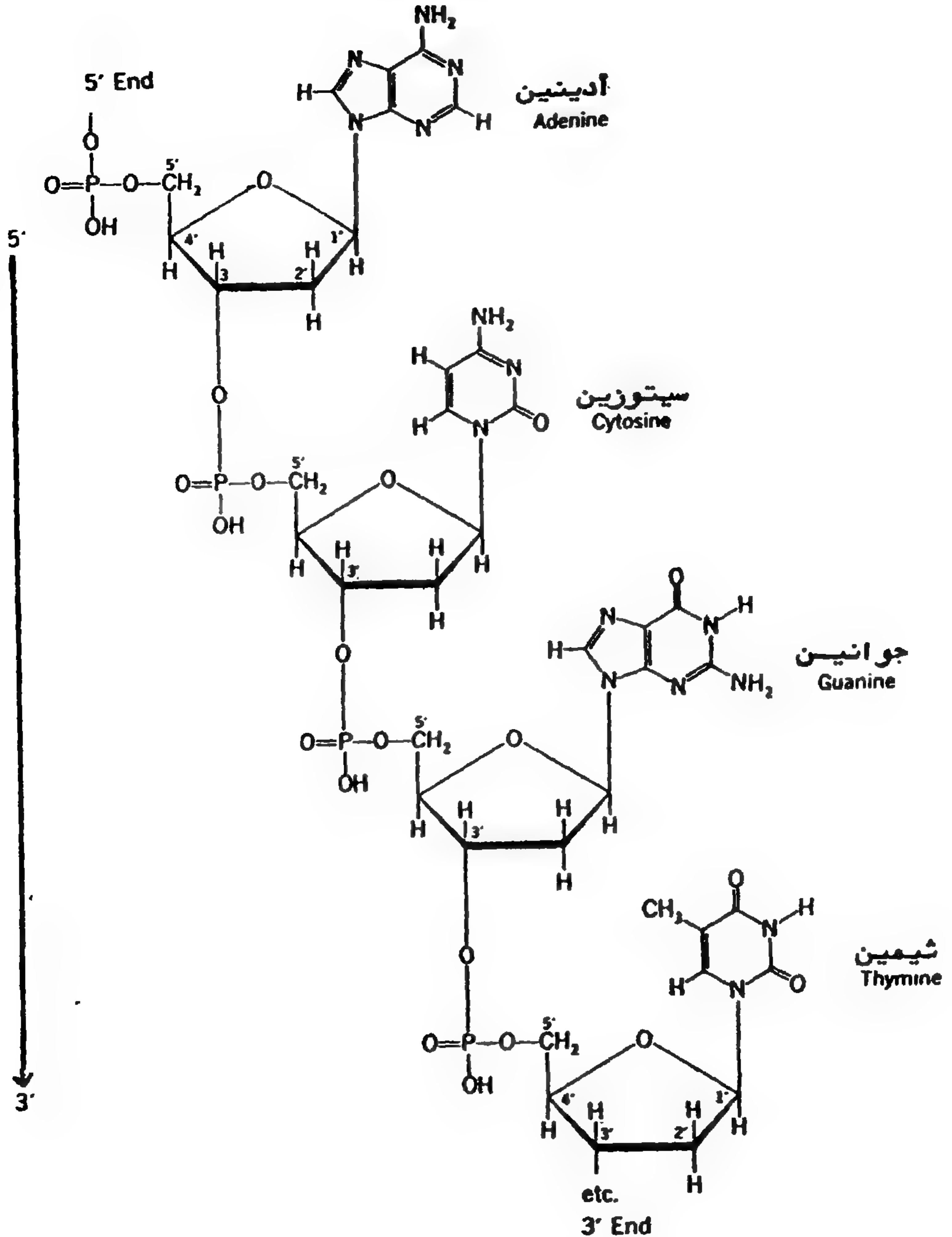
شكل ١٤-٢ : التركيب البنائى لكلا من الريبوز والدى أوكس ريبوز

ومن الملاحظ أن الأحماض النووية تتركب من وحدات متكاملة مكونة من قاعدة نيتروجينية (بيورين أو بريميدين) وسكر خماسى (ريبوز أو دى - أوكس - ريبوز) ومجموعة فوسفات ، وكل وحدة من هذه الوحدات المتكررة تسمى " نيوكليوتيد " Neocleotide ، وترتبط النيوكليوتيدات الأحادية ببعضها بواسطة جزيئ الفوسفات عن طريق رابطة ثنائية الإسترمع مكان المجاميع الهيدروكسيلية الموجودة على الكربون الثالث والخامس (٣ ، ٥ /) بالسكر الخماسى كما يظهر بوضوح فى الشكل (١٤-٣ " أ " ، " ب ") لكل من رنأ ، دنأ . والمركب الناتج من ارتباط النيوكليوتيدات الأحادية يعرف باسم عديدات النيوكليوتيدات Polynucleotides .

ويتكون كل نيوكليوتيد أحادى - كما سبق أن ذكرنا - من مجموعة فوسفات وسكر خماسى وقاعدة نيتروجينية (وعند انفصال مجموعة الفوسفات من المركب المذكور فان الناتج يسمى نيوكليوسيد Nucleoside وعلى ذلك فان النيوكليوسيدات Nucleosides عبارة عن مركبات

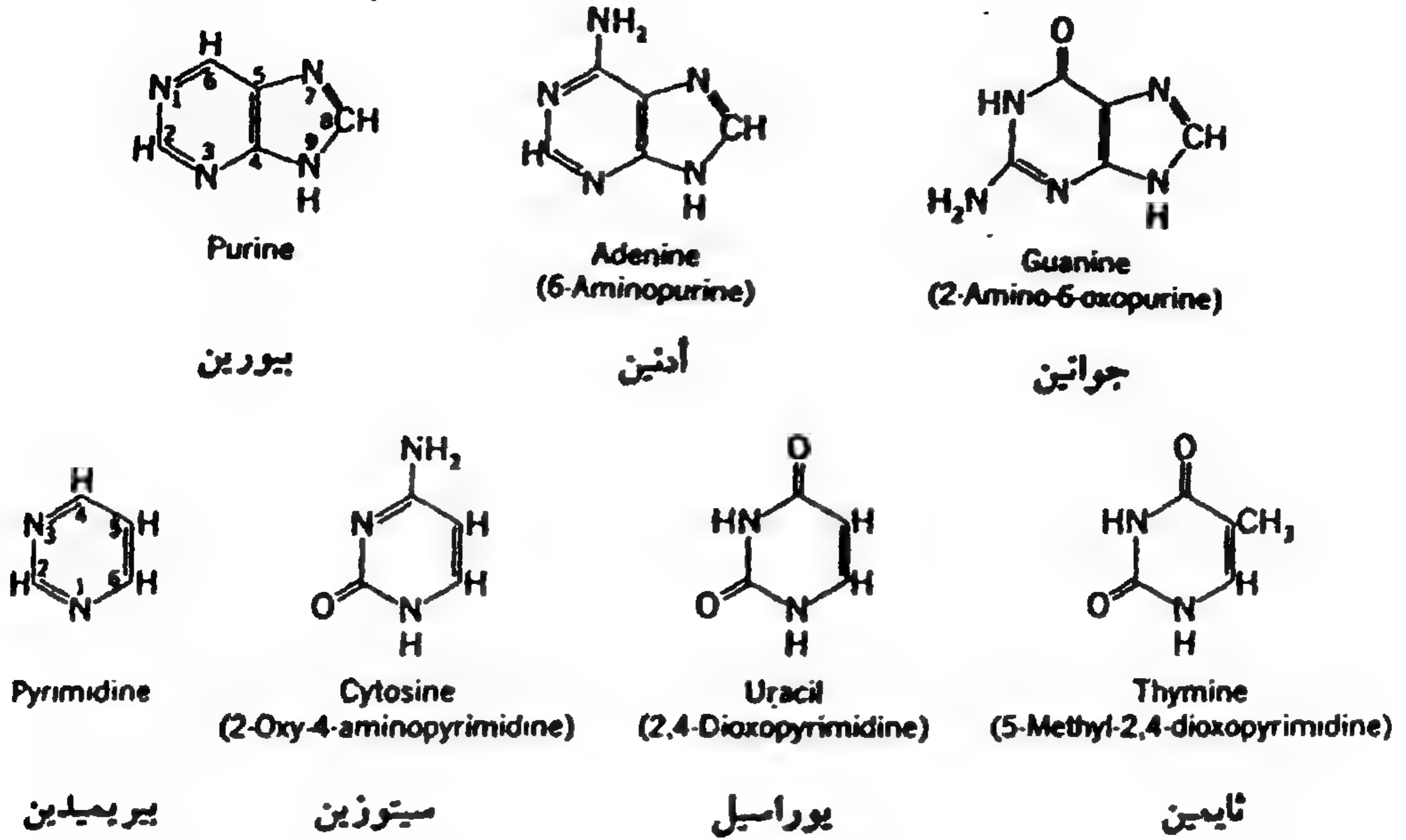


شكل ١٤-٣ : التركيب البنائي لسلسلة عديدات الريبونيوكلينوتيدات لتوضيح الرابطة ثنائية الاستر بين جزئيات سكر الريبوز بواسطة مجموعات الفوسفات. وكذلك توضيح الرابطة بين جزئيات سكر الريبوز والقواعد النيتروجينية أدينين - سيتوزين - جوانين - يوراسيل.



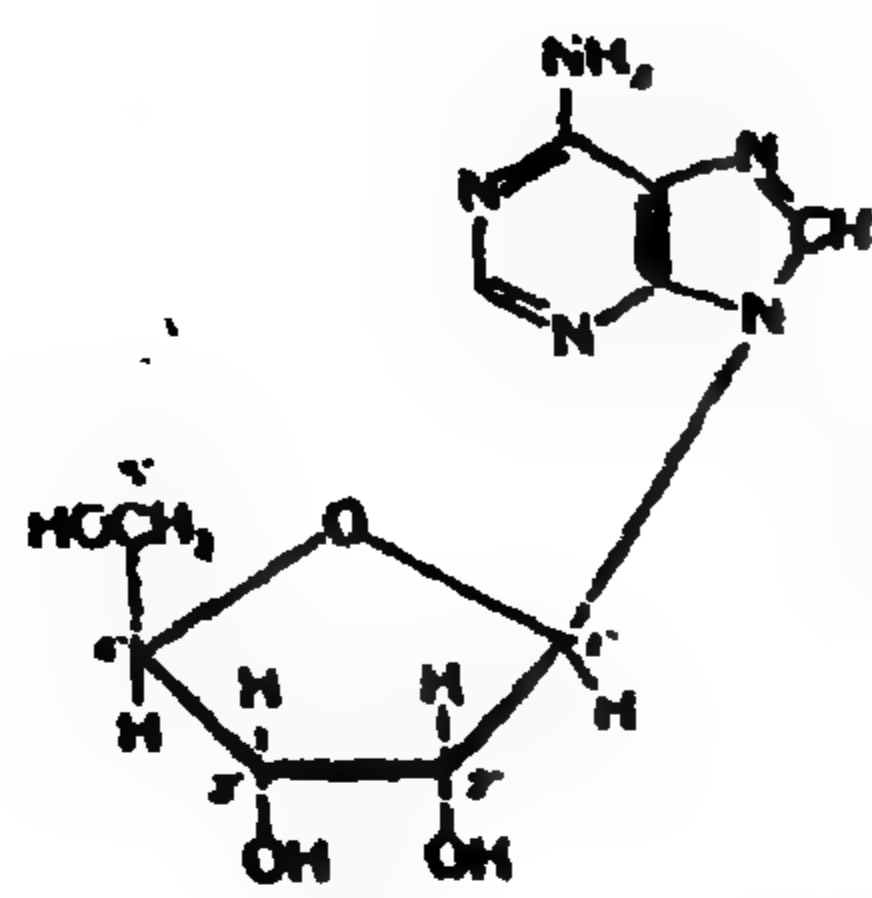
شكل ١٤-٣ ب : التركيب البنائي لسلسلة عديدات الـ دي أوكس ريبونيو-
 كليوتيدات . لتوضيح الرابطة ثنائية الاستر بين جزئيات سكر الـ دي أوكس
 ريبوز بواسطة مجموعات الفوسفات وكذلك توضيح الرابطة بين جزئيات سكر
 الـ دي أوكس ريبوز والقواعد النيتروجينية آدينين - سيتوزين - جوانين -
 ثيمين .

ناتجة من اتحاد احد جزئيات القواعد النيتروجينية (بيورين أو بيريميدين)
شكل ١٤-٣ مع جزئ سكر (بيتاربيوز أو بيتادى - أوكس - ريبسوز)

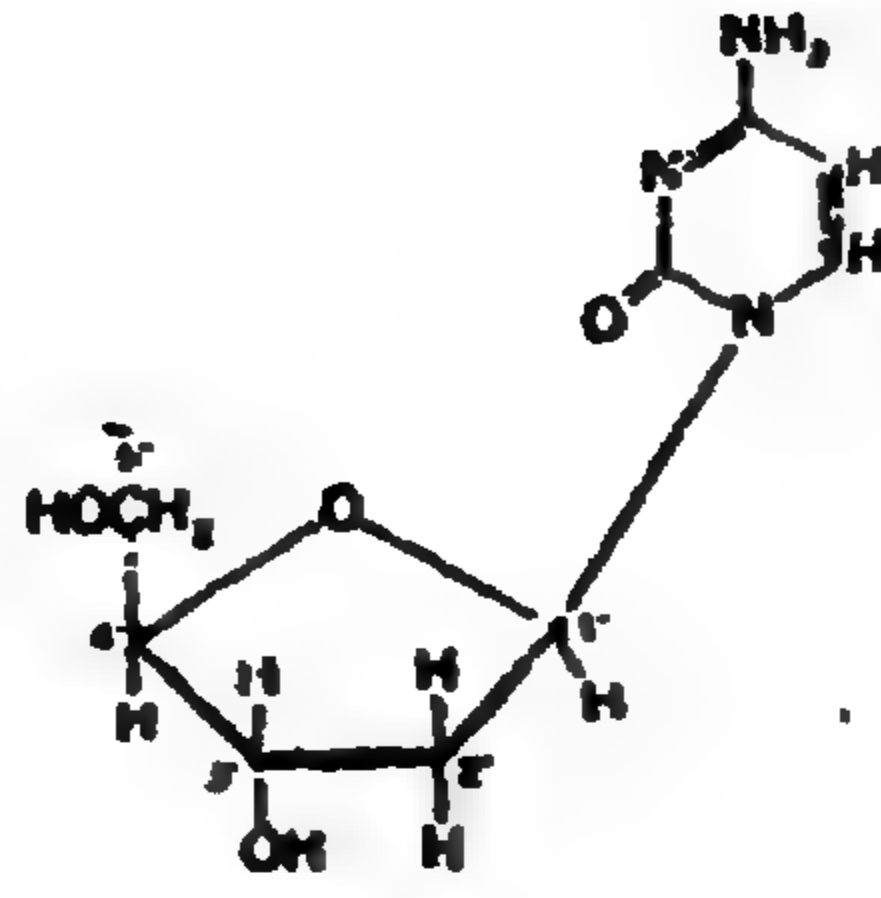


شكل ١٤-٤ : التركيب البنائى لقواعد البيورين والبيريميدين الشائعة
فى الأحماض النووية .

بواسطة رابطة جليكوسيدية (بيتا) . وفيها تتصل القاعدة النيتروجينية
مع مجموعة هيدروكسيل على ذرة الكربون الأولى للسكر . ومكان اتصال
القاعدة النيتروجينية بالسكر هو ذرة النيتروجين رقم ٩ فى البيورينات
(أدينين وجوانين) كما فى الشكل (١٤-٥) بينما فى البيريميدينات
فمكان الاتصال مع السكر هو ذرة النيتروجين رقم ١ كما فى الشكل (١٤-٥)
والجدول (١٤-١) يوضح أسماء البيورينات والبيريميدينات
الشائعة فى الأحماض النووية والنيوكليوسيدات والنيوكليوتيدات المشتقة
منها ، وكما هو واضح من ذلك الجدول فان النيوكليوسيدات والنيوكليو-
تيدات تسمى تبعا للقاعدة النيتروجينية الموجودة بها .



أدينوسين



دي أوكس سيتدين

شكل ١٤-٥ : التركيب البنائي
للأدينوسين والدي أوكس
سيتدين يوضح الرابطة بين
السكر والقاعدة النيتروجينية .

جدول ١٤-١ : أسماء النيوكليوسيدات التي لها علاقة بالأحماض النووية

القاعدة الأزوتية	الرايبونوكليوسيد	الديوكسي رايبونوكليوسيد
أدينين	أدينوزين	ديوكسي أدينوزين
جوانين	جوانوزين	ديوكسي جوانوزين
يوراسيل	يوريدين	ديوكسي يوريدين (ليس لها وجود بالحمض النووي د ن أ DNA)
سايتوزين	سايتيدين	ديوكسي سايتيدين
ثايمين	ثايمين رايبونيو كليوسيد . (ليس لها وجود بالحمض النووي RNA)	ديوكسي ثايميدين

وهناك عدة قواعد للتسمية نلخصها فيما يلي :

- (١) اسم النيوكليوسيدات يشتق من اسم القاعدة النيتروجينية مع الانتهاء بالمقطع (- يدين) في حالة البيريميدين الا في حالة الثيمين ، وبالمقطع (- زين) في حالة قاعد البيورين .

(٢) اسم النيوكليوتيدات يمكن تسميتها بأكثر من طريقة
، فهي تسمى :

أ- كحمض رني هذه الحالة يشتق من اسم النيوكليوسيد مع الانتهاء
بالمقطع (- يلك) فيقال حمض سيتديلك أو حمض دي أوكسس
سيتديلك على حسب نوع السكر الموجود مع ضرورة توضيح مكان
ارتباط مجموعة الفوسفات: هل هي على الذرة رقم ٣ أو الذرة
رقم ٥ لجزيء السكر ، فيقال ٥ / حمض سيتديلك أو ٣ / حمض
سيتديلك .

ب- كاستر فوسفاتي للنيوكليوسيد مع ضرورة توضيح مكان مجموعة الفوسفا
أيضا فيقال ٥ / - سيتدين أحادي الفوسفات أو سيتيديين
٥ / فوسفات ، ويحتوي كلا النوعين من الأحماض النووية دنا ،
رنا على القاعدتين النيتروجينيتين من البيورين وهما الآدينين
والجوانين . كما أن كلا الحمضين يحتوي على القاعدة النيتروجينية
ستيوزين ، ولكن قاعدة البريميدين الثانية فيهما مختلفــة ،
فالحمض النووي رنا يحتوي على قاعدة اليوراسيل ، أما الحمض
النووي دنا فانه يحتوي على قاعدة الثايمين . والجدول (١٤-٢)
يوضح القواعد النيتروجينية في كلا الحمضين النوويين :

جدول ١٤-٢ القواعد النيتروجينية في الأحماض النووية :

رنا RNA	دنا DNA
أدينين A	أدينين A
جوانين G	جوانين G
ستيوزين C	ستيوزين C
يوراسيل U	ثايمين T

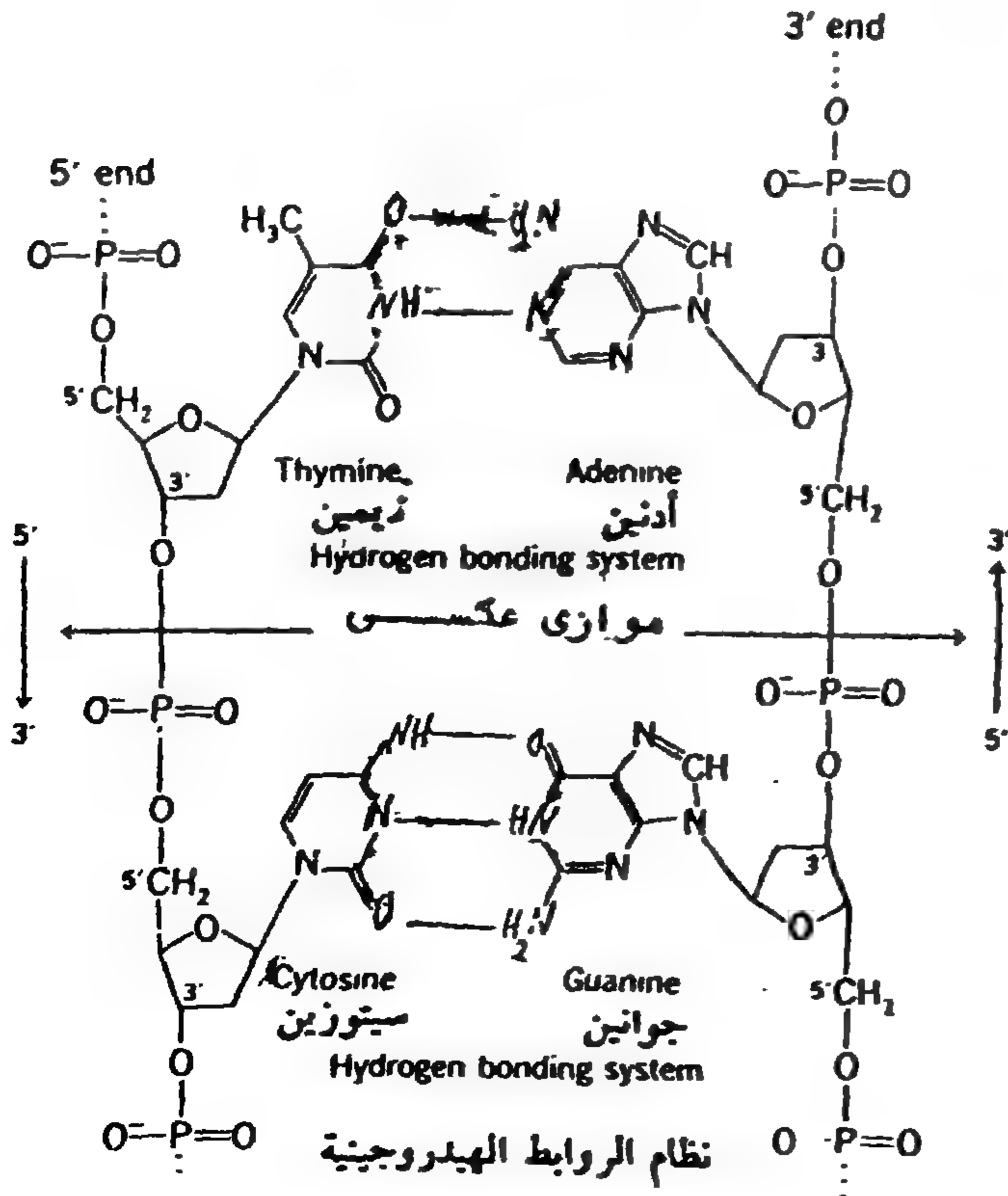
أنواع الأحماض النووية

ويوجد في الطبيعة أنواع مختلفة من كل من الأحماض النووية د ن أ ،
رن أ :

(١) الحمض النووي د ن أ المزدوج (الثنائي) والمفرد (الأحادي) للسلسلة

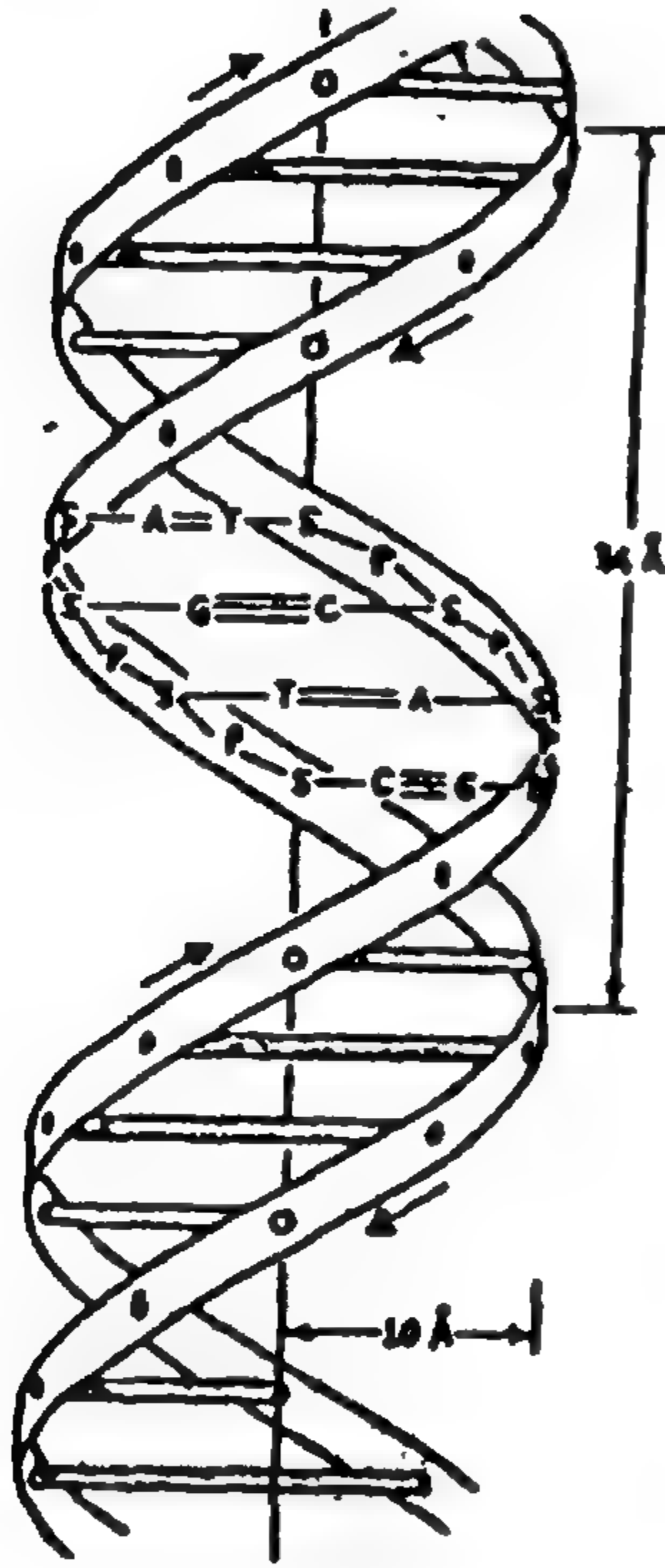
الحمض النووي د ن أ علاوة على وجوده في الفيروسات (د ن أ فيروسي)
فانه أيضا موجود في أنوية الخلايا ، كما يوجد في الميتوكوندريا ، وفي
البلاستيدات الخضراء .

ويوجد الحمض النووي د ن أ عادة على هيئة سلسلتين متوازيتين
متحدتين معا لتكوين سلسلة مزدوجة Double-Stranded ، ولكن يكون
اتجاه احدي السلسلتين معاكسا لاتجاه السلسلة الأخرى وفي اتجاه
مواز لها Anti-parallel (شكل ٦-١٤) ، وتلتف هذه السلسلة

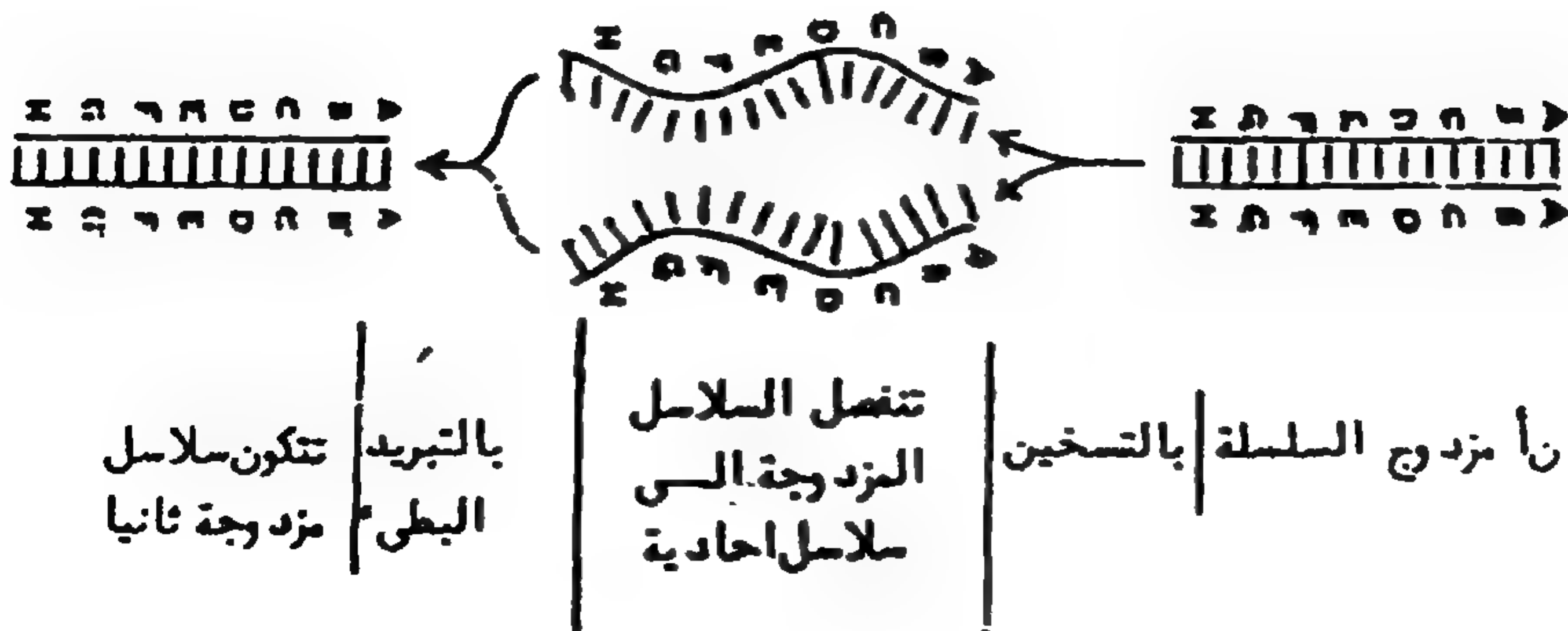


شكل ٦-١٤ : ازدواج
السلاسل المتعاكسة
بالحمض النووي د ن أ
DNA نتيجة للروابط
الهيدروجينية بين
القواعد النيتروجينية

حول نفسها في شكل حلزوني helical لذلك تسمى التركيب الحلزوني المزدوج Double helix (شكل ٧-١٤) وهذا التركيب الحلزوني مرتبط معا بروابط هيدروجينية بين قواعد البيورين والبريميدين كما هو واضح في الشكل (٧-١٤) حيث توجد رابطة ثلاثية بين الجوانبيين والسيتوزين ($G \equiv C$) ورابطة ثنائية بين الأدينين والثايمين ($A = T$) . ويمكن فك هذه الروابط بالتسخين (شكل ٨-١٤) .

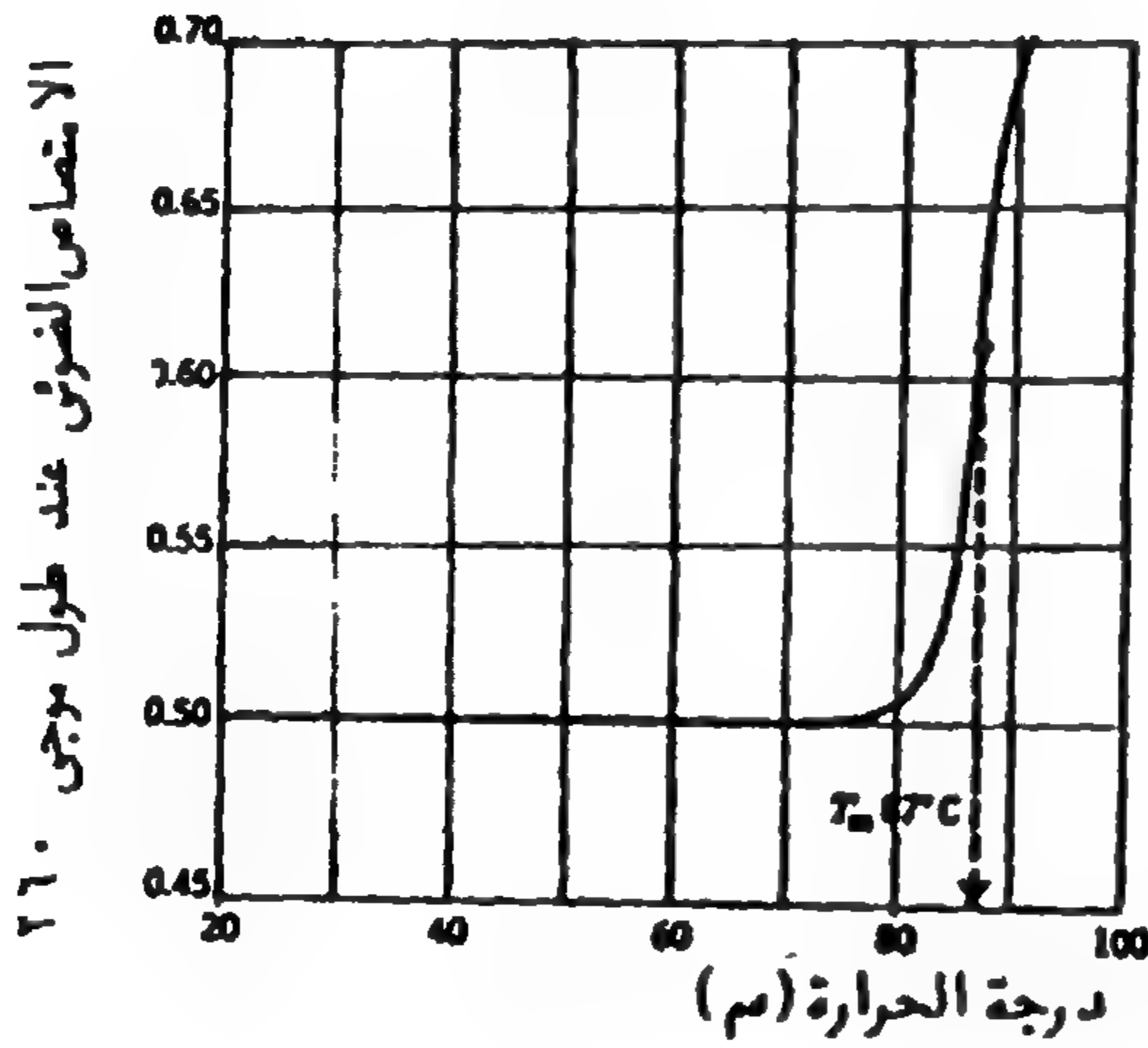


شكل ٧-١٤ : الشكل الحلزوني أو السلسلتين للحمض النووي .
 P تعنى الفوسفات ثنائي الاستر
 S تعنى دي أوكسي ريبوز ،
 A=T تعنى زوج ادينين مع الثايمين .
 G=C تعنى زوج جوانين مع سيتوزين .



شكل ٨-١٤ : تأثير الحرارة على دنا مزدوج السلسلة

ولكن فك الروابط الهيدروجينية الثلاثية يقتضى درجات حرارة أعلى من المطلوبة لفك الروابط الزوجية . لذلك فكلما ، زادت نسبة الجوانين - سيتوزين في الحمض النووى كلما احتاج لدرجة حرارة أعلى لفصل السلسلتين عن بعضهما . وتعرف درجة الحرارة التى يتم عندها انفصال السلسلتين بدرجة الانصهار T_m melting temperature ويرمز لها بالرمز T_m . والحمض النووى د ن أ لكل كائن له درجة انصهار خاصة به ونفسا لنسبة كل قاعدة من القواعد فى تركيبه . وتميز درجة الانصهار للحمض النووى د ن أ بواسطة الزيادة الملحوظة فى الامتصاص الضوئى للأشعة فوق البنفسجية عند ضوء ذو طول موجى قدره ٢٦٠ نانوميتر (شكل ١٤-٩) .



شكل ١٤-٩ : منحنى يوضح تأثير الحرارة على امتصاص الحمض النووى د ن أ للأشعة فوق البنفسجية عند طول موجى ٢٦٠ نانوميتر . ويلاحظ زيادة الامتصاص الضوئى بزيادة الحرارة ويشير السهم الى درجة الانصهار للحمض النووى .

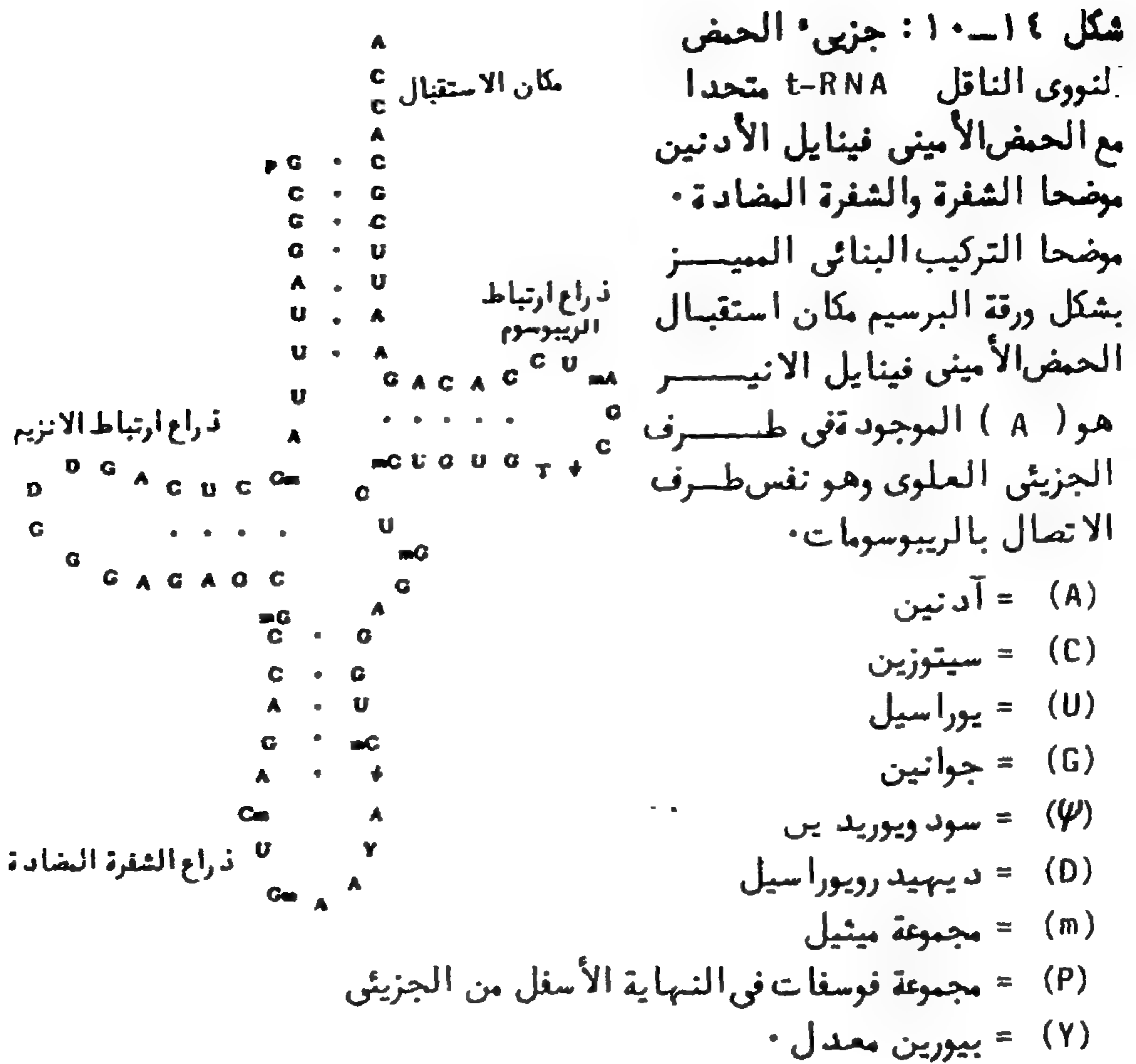
وعند إعادة تبريد محلول السلاسل المنفصلة - تبريداً بطيئاً - فإنه يعاد تكوين التركيب الحلزونى المزدوج Double helix وتسمى هذه العملية Annealing ويمكن تمييز هذه العملية بانخفاض ملحوظ فى امتصاص الأشعة فوق البنفسجية عند طول موجى قدره ٢٦٠ نانوميتر ، ويمكن معرفة مدى صلة كائن ما بكائن آخر عن طريق إمكانية تكوين سلاسل مزدوجة من سلاسل مفردة مأخوذة من الكائنين بعد وضع علامات مميزة خاصة على كل منهما .

كما أن ترتيب القواعد النيتروجينية الأربعة في الحمض النووي دن أ يشكل الشفرة الوراثية لجميع الكائنات بما في ذلك الفيروسات ، التي يتم تضاعفها بدقة متناهية عند انفصال السلسلتين ، وتكوين السلسلة المكملة لكل منهما لينتج في النهاية ٢ جزئ دن أ حلزوني مزدوج يحتويان على ترتيب مماثل للقواعد النيتروجينية في دن أ الأصلي (الأبـــوى Parental) .

(٢) الحمض النووي رن أ

أ- رن أ حامل شفرة أو مرسال : وسيرمز له بالرمز (م-رن أ) m-RNA ... وهو ذلك الحمض الذي ينسخ المعلومات من جزئيات دن أ ، وهو عبارة عن سلسلة مستقيمة مفردة تترتب فيه القواعد النيتروجينية بنظام معين تحكمت فيه التعليمات الجينية الموجودة على جزئيات دن أ .

ب- رن أ ناقل أو ذائب : وسيرمز له بالرمز ت-رن أ (t-RNA) وأحيانا يرمز لهذا الحمض النووي بالرمز س-رن أ s-RNA وهذا الحمض النووي يوجد منه حوالي ستون نوعا في الخلايا ، وكل نوع (أو عدة أنواع) من هذه الأحماض النووية يختص بحمل ونقل حمض أميني معين . ومثل هذا النوع أو الأنواع من ت-رن أ قادر على تمييز شفرة Codon مكونة من ثلاث قواعد نيتروجينية في ترتيب خاص على جزئيات م-رن أ ، ويتم تمييز هذه الشفرة بواسطة ترتيب قواعد على جزئ ت-رن أ مكمل لترتيب قواعد الشفرة ، والترتيب الثلاثي المكمل الموجود على جزئيات ت-رن أ يسمى الشفرة المضادة Anti codon وهي عبارة عن الثلاثة نيوكليوتيدات (في ترتيب خاص) اللازمة لوضع حمض نووي ناقل معين في مكان معين على الشفرة الخاصة على جزئ م-رن أ خلال تكوين البروتين حيويا أثناء عملية ترجمة المعلومات التي يحملها م-رن أ . والأحماض النووية الناقلة ت-رن أ تكون عادة على شكل ورقة البرسيم (شكل ١٤-١٠) .



Quigley & Rich 1976, Science 194, 796

ج - رن أ ريبوسومي : وسيرمز له بالرمز ر - رن أ r-RNA في كل
من ريبوسومات الخلايا بدائية النواة وحقيقية النواة . وهذه
الأحماض النووية كلها أحادية السلسلة ، وان كان لها تركيب
حلزوني في بعض الأماكن ناتج من طيات في السلسلة الأحادية
عديدة النيوكليوتيدات حيث تتكون الروابط الهيدروجينية
في أماكن هذه الطيات .

د - رن - فيروس : تكون المادة الوراثية لكثير من الفيروسات عبارة عن الحمض النووي رن أ سواء أكانت جزيئات هذا الحمض النووي مفردة السلسلة أو مزدوجة السلسلة . وفي مثل هذه الحالة تعمل جزيئات رن أ كأساس template لبناء جزيئات جديدة ، وكذلك تعمل كحمض نووي مرسال م - رن أ m-RNA لترجمة المعلومات الى بروتينات فيروسية .

وهذه المجموعة من الفيروسات ذات أهمية خاصة نظرا لما تنفرد به من عمل حمض رن أ كمادة وراثية ، فلم يعرف في جميع الكائنات ذات التركيب الخلوي أن يعمل الحمض النووي رن أ كمادة وراثية .

أهمية الأحماض النووية

جميع الكائنات الحية ذات التركيب الخلوي وكذلك العديد من الفيروسات تكون المعلومات الوراثية فيها محفوظة على السلاسل المزدوجة لجزيئات دن أ . وتمثل جزيئات دن أ المزدوجة السلاسل المكون الأساس في الأنوية للكائنات ذات النواة الحقيقية Eucaryotes أو المكون الوحيد في النواة للأحياء ذات النواة البدائية Procaryotes ، أما الفيروسات فان المعلومات الوراثية فيها قد تكون موجودة على أيضا من الحمضين النوويين دن أ أو رن أ سواء كان جزيء الحمض النووي مزدوج أو مفرد السلسلة . وان كانت معظم الفيروسات تحتوي على الحمض النووي دن أ المزدوج السلسلة أو الحمض النووي رن أ المفرد السلسلة ، وهذه هي الصورة الشائعة لكلا الحمضين النوويين في الأحياء ذات التركيب الخلوي ، والقلة من الفيروسات تحتوي على الحمض النووي دن أ مفرد السلسلة أو الحمض النووي رن أ مزدوج السلسلة . فمثلا يحتوي الفيروس الدقيق للفأر minute virus of mice وفاج بكتيرييا القولون أف . دي coliphage Fd وفاج بكتيريا القولون فاي اكسس

١٧٤ Coliphage ØX 174 على جزئيات دن أ مفرد السلسلة . بينمسا
تحتوى قلة من الفيروسات فى طورها الخارجى (الفيرونات) على الحمض
النوى رن أ مزدوج السلسلة مثل فيروسات ريو Reoviruses وبعض
الفيروسات النباتية الأخرى .

وتتراوح نسبة الأحماض النووية nucleic acids فى جزيى
الفيرون من ١% كما فى فيروس الانفلونزا influenza virus
أكثر من ٥٠% كما فى بعض الفيروسات البكتيرية (جدول ١٤-٣) وعند

جدول ١٤-٣ : التركيب الكيمائى التقريبى لبعض الفيروسات .

الفيروس	نسبة الأحمال النووية		نسبة البروتين	نسبة الدهن	نسبة الكربوهيدرات	مكونات الدهن
	رنا	دنا				
فيروسات أدنيو طراز ٢ ، ٤	١٢		٨٧			
فيروس موزايك البرسيم الحجازى	١٩		٨١			
فيروس Avian myeloblastosis	٢		٦٢	٢٥	١	لوسولبيدات
فيروس Broad bean mottle	٢٢		٧٨			
فيروس Broad bean true mosaic	٢٥		٦٥			
فيروس Brome mosaic	٢١		٧٩			
فيروس Carnation latent	٦		٩٤			
فيروس موزايك القنبط	١٦		٨٤			
فاجات { F1, Fd, M13, F2, Fr, M12	١٢		٨٨			
فاجات MS2, R17, Qβ	٢٠		٧٠			
فاجات Ø X 174, Ø R, S13	٢٦		٧٤		٥	
فاجات كى ذات الأرقام المزدوجة	٥٥		٤٠			
فيروس موزايك القنبط	٢٢		٦٧			
موزايك الخيار	١٨		٨٢			
فيروس Encephalomyocarditis	٢٠		٧٠			
فيروس Equine abortion	٩		+	+		لوسولبيدات دهون متعادلة كوليسترول
فيروس Equine encephalomyelitis	٤		٤٢	٥٤		
فيروس مرض القدم والدم FMDV	٢١		٦٩			لوسولبيدات
فيروس Fowl plague	٢		٦٨	٢٥	+	وكوليسترول
فيروس Fowl pox.	٢		٧١	٢٧		دهون متعادلة

تابع جدول ١٤-٣: التركيب الكيميائي التقريبي لبعض الفيروسات.

الفيروس	نسبة الاحماض النووية		البروتين	الدهون	الكربوهيدرات مكونات	الدهن
	نأ %	نأ %				
فيروس Herpes simplex	٩		٦٧	٢٢	٢	فوسفوليبيدات
فيروس الانفلونزا	١		٧٤	١٩	٦	وكوليسترول ودهن آخرى
فيروس (ME) House encephalitis	٢١		٦٩			
فيروس مرض النيوكل	١		٧٢	٢٠	٦	فوسفوليبيدات ودهن آخرى
فيروس Pea enation mosaic	٢٤		٧١			
فيروس شلل الأطفال Poliovylitis	٢٦		٧٤			
فيروس Polyoma		١٦	٨٤			
فيروس أكس البطاطس PXV	٦		٩٤			
فاج PH2 الذي يصب Pseudomonas		١٤	٧٦	١٠		فوسفو ليبيدات
فيروس الكلب Rabies	٤		٩٦			
فيروس Rous sarcoma	٢		٦٢	٢٥	١	فوسفوليبيدات دهن آخرى
Silkworm cytoplasmic polyhedrosis	٧٢		٧٧			
فيروس Shope papiloma		١٨	٨٢			
Silkworm cytoplasmic polyhedrosis	٢٢		٧٧			
فيروس سنطيس Sindbis	٩		٩٧	٤٤		فوسفوليبيدات وكوليسترول
Southern bean mosaic	٢١		٧٩			
فيروس SVS (Simian parainfluenza)	١		٧٢	٢٠	٦	فوسفوليبيدات ودهن آخرى
فيروس SV40 (Simian papova)		١٢	٨٧			
Tipula iridescent		١٢	٨٢	٥		فوسفوليبيدات
فيروس موزايك الدخان TMV	٩		٩٥			
فيروس تشفر الدخان TMV	٢٠		٨٠			
فيروس خشبة الدخان Tobacco rattle	٥		٩٥			
فيروس التليج الحلقى في الدخان TRSV	٤٠		٦٠			
فيروس Tomato bushy stunt	١٧		٨٢			
فيروس Tomato spotted wilt	٥		٧١	١٩	٥	غير معروف
فيروس الموزايك الأمفر في اللبث TYMV	٢٤		٦٢			
فيروس فاكسينيا Vaccinia		٥	٩١	٤		فوسفوليبيدات وكوليسترول ودهن آخرى
فيروس موزايك الحيار البري WMV	٢٥		٦٥			
فيروس ريو طراز ٢ Reo Type 3	٢١		٧٩			

• تنص أنه يمكن الكشف عن وجود كمية من ذلك المكون ولكن الكمية لم يتم تقديرها بدقة بعد .

استخلاص الحمض النووي من فيروسات فيروس معين تحت ظروف تقلل من تقطع سلاسل الحمض النووي فانتا نحصل على نسخة واحدة من الحمض النووي من كل فيروس (فيما عدا بعض فيروسات الحمض النووي الريبوزي RNA الكبيرة) .

ويختلف طول هذه السلاسل النووية في الأنواع المختلفة من الفيروسات وان كانت ثابتة للفيروسات من نفس النوع . ويتراوح طول هذه السلاسل النووية من عدة آلاف قليلة من النيكليوتيدات أو أزواج النيكليوتيدات في فيروسات معينة الى حوالي ٣٠٠٠٠٠ نيكليوتيدات أو أزواج نيكليوتيدات في فيروسات أخرى . واذا اعتبرنا أن متوسط طول الجين gene هو حوالي ١٠٠٠ نيكليوتيدات فانه يمكن حساب عدد البروتينات التي يستطيع كل فيروس بنائها ، وأصغر الفيروسات المعروفة عليه معلومات تكفي لبناء ثلاث بروتينات فقط ، بينما تكفي المعلومات الموجودة على الحمض النووي لبعض الفيروسات لبناء عدة مئات من البروتينات ، ورغم كبر حجم المادة الوراثية لتلك الفيروسات الأخيرة إلا أنها لا تستطيع أن تحيا مستقلة دون التطفل على خلايا حية . ويؤدي اختلاف حجم المادة الوراثية على هذا الوجه الى اختلاف عدد البروتينات الفيروسية التي تتكون داخل الخلية المائل بعد غزوها بفيروس معين .

واذا قورنت الفيروسات عامة بالخلايا ، فانه يمكن اعتبارها احادية المجموعة الصبغية (الكروموسومية) haploid نظرا لاحتوائها على نسخة واحدة من الحمض النووي - باستثناء فيروسات رترو Retroviruses .

وفيروسات رترو Retroviruses (وهي من فيروسات الحمض النووي الريبوزي مفرد وموجب السلسلة) تتميز عن باقي الفيروسات بكونها ثنائية المجموعة الصبغية (الكروموسومية) diploid ، وذلك لاحتواء الفيروس على نسختين من الحمض النووي الريبوزي المفرد الموجب السلسلة . وكلا النسختين متشابهتين في ترتيب القواعد النيتروجينية ، وترتبط النسختين قرب النهاية المعروفة باسم 5' end بواسطة روابط

هيدروجينية ، وتنفصل النسختان عن بعضهما بسهولة بالتسخين .

خواص الأحماض النووية في مجموعات الفيروسات الأربع الأساسية :

(١) فيروسات د ن أ مزدوج السلسلة : ds DNA viruses

يوضح الجدول (١٤ - ٤) الوزن الجزيئي للحمض النووي د ن أ الفيروسى مقاسا بطرق مختلفة . تتفاوت نسبة كل من القواعد النيتروجينية فى الفيروسات المختلفة ، بل أن بعض الفيروسات تحتوى على قواعد نيتروجينية غير عادية ، فعلى سبيل المثال نجد أن الحمض النووي د ن أ DNA المزدوج السلسلة الموجود فى مجموعة فيروسات بكتيريا القولون والمعروفة باسم الفيروسات البكتيرية تى ذات الأرقام الزوجية T even phages يحتوى على القواعد النيتروجينية المعروفة باسم ٥ - هيدروكسى ميثيل سيتوزين (5-hydroxy methyl cytosine) بدلا من قواعد السيتوزين العادية ... وقد أتاح اكتشاف هذه الحقيقة إمكانية دراسة تضاعف الأحماض النووية الفيروسية بمعزل عن تضاعف الأحماض النووية الخلوية للخلية العائل ، كما أن اكتشاف هذه القاعدة النيتروجينية غير العادية (٥ - هيدروكسى ميثيل سيتوزين) والتي لا توجد فى الأحماض النووية للخلية العائل أزاح الستار عن أنه يتكون فى الخلايا التى تم غزوها بالفيروسات المذكورة مجموعة جديدة من الأنزيمات كانت غير موجودة أساسا فى الخلية العائل .

كما تم الكشف بعد ذلك عن أن مركب ٥ - هيدروكسى ميثيل يوراسيل 5-hydroxy methyl uracil يحل محل السيتوزين فى بعض الفيروسات البكتيرية المتخصصة لبكتيريا Bacillus subtilis ، وتؤدي مثل هذه الاستبدالات فى القواعد النيتروجينية الى تغيرات واضحة فى خواص الأحماض النووية ، لذلك يسهل تمييز الأحماض النووية الفيروسية عن الأحماض النووية للخلايا العائل ، ولأن كثيرا من فيروسات الحمض النووى د ن أ المزدوج السلسلة تحتوى على حمض نووى فى صورة حلقة Circular الا أن بعض الفيرونات تحتوى على الحمض النووى فى صورة مستقيمة

جدول ٤ (١-٤) : خواص الأحماض النووية الفيروسيّة :

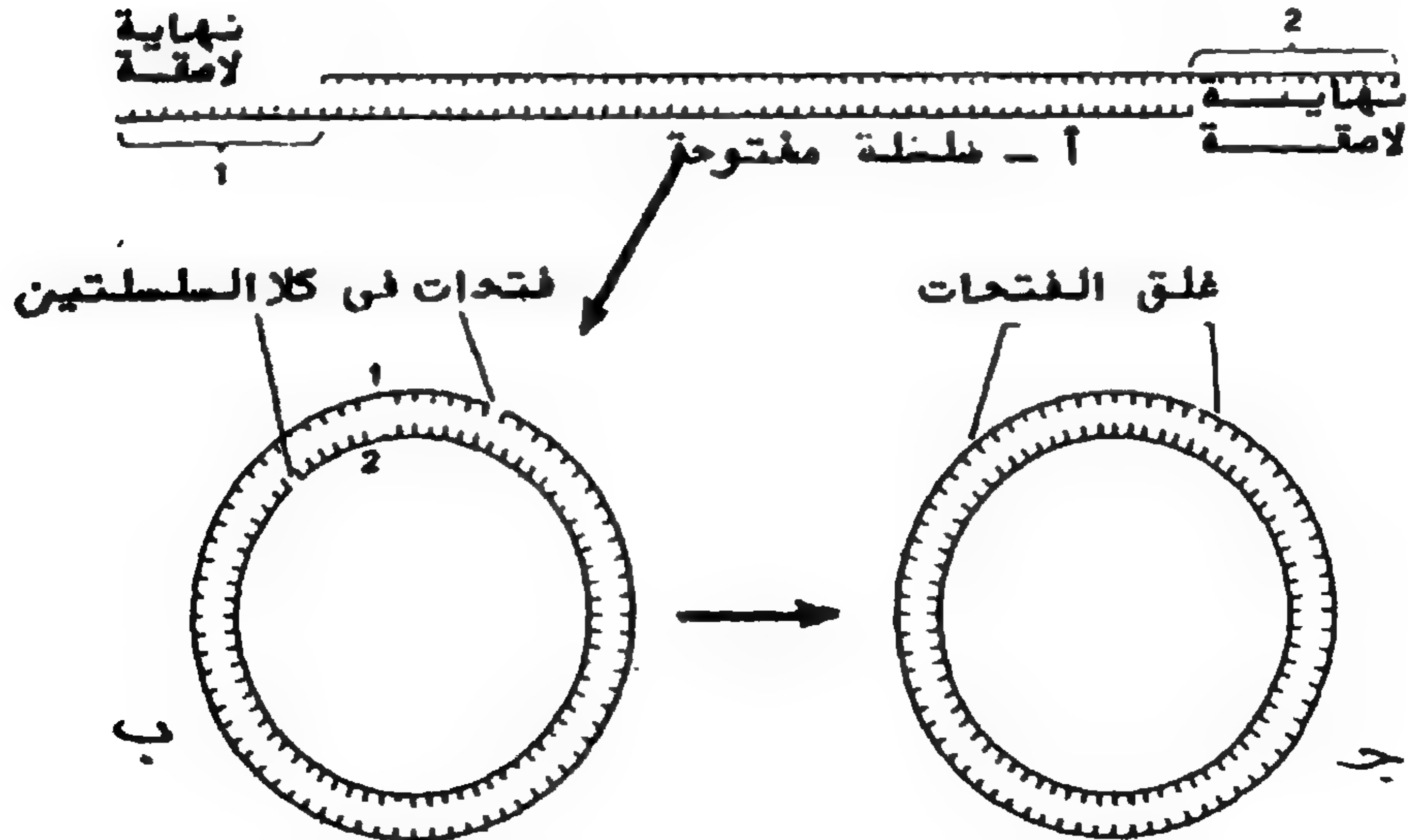
نوع الحمض النووي الفيروس	الفيروسات الممثلة	الوزن الجزيئي $\times 10^6$ دالتون	عدد القواعد النيتروجينية في السلسلة الأحادية $\times 1000$ السلسلة	عدد قطع الحمض النووي في الفريون	الطبيعة الحمض النووي الفيروس
<u>الحمض النووي من أ مزدوج السلسلة</u>					
Hepatitis B	طلي	١.١	٢.٢		
Papova	طلي	٢.٢	٥		
MS2	طلي	٦	٩		
Pseudomonas	طلي	٦	٩		
فيروسات أدينو	١٨.١٢	٢١	٢٢		
٥.٢	٢٢	٢٣	٢٥		
٢.٢	٢٥	٢٥	٢٨		
٢.٢	٢١	٢١	٢٧		
٢.٢	٢٧	٢٧	١١٧		
٢.٢	١٠٠	١٠٠	١٥١		
٢.٢	١١٠	١١٠	١٦٧		
٢.٢	١٢٠	١٢٠	١٩٧		
٢.٢	١٦٠	١٦٠	٢٤٢		
<u>الحمض النووي من أ أحادي السلسلة</u>					
Parvovirus	١٢٤	١٢٤	١٢٤		
١٢٤	١٢٤	١٢٤	١٢٤		
<u>الحمض النووي من أ مزدوج السلسلة</u>					
Reovirus	١٠	١٠	١٠		
Rice dwarf virus	١٠	١٠	١٠		
Cytoplasmic polyhedrosis	١٠	١٠	١٠		
<u>الحمض النووي من أ أحادي السلسلة</u>					
Satellite necrosis virus	١٠	١٠	١٠		
R 17	١٠	١٠	١٠		
THV	١٠	١٠	١٠		
TYM	١٠	١٠	١٠		
Picornae	١٠	١٠	١٠		
Bunyavirus	١٠	١٠	١٠		
Rous Sarcoma	١٠	١٠	١٠		

تابع جدول ١٤-٤ : خواص الأحماض النووية الفيروسيية :

نوع الحمض النووي الفيروسي	الفيروسات الممثلة	الوزن الجزيئي 10^6 والتون	عدد القواعد النيتروجينية في السلسلة الأحادية $1000 \times$	عدد قطع الحمض النووي في الفيروس	الظهور الحمض النووي الفيروسي
فيروسات ألفا	المنطوقية	٤	١٢	١	+
فيروسات وابتو	Vesicular stomatitis	٤	١٢	١	-
فيروسات ميكس (الزائفة)	فيروس الانفلونزا	٦	١٨	٨	-
فيروسات باراميكس (شبيه الزائفة)	فيروس موري النبر لاسل	٦	١٨	١	-

• علامة تعني أن تلك القيمة مأخوذة من الوزن الجزيئي لمجموع قطع الحمض النووي في الفيروسين •

linear وهذه الأخيرة يمكنها التضاعف داخل خلية العائل لتتحولها الى الصورة الحلقية من خلال النهايات اللاصقة Cohesive ends لجزيء الحمض النووي (شكل ١٤-١١) •



شكل ١٤-١١ : تحول المادة الوراثية فاج لامبدا من الصورة الحلقية عن طريق النهايات اللاصقة في جزيء الحمض النووي •

- أ - سلسلة مستقيمة واضح بها النهايات اللاصقة •
- ب - التحول الى الصورة الحلقية مع وجود فتحات في كلا السلسلتين •
- ج - قفل الفتحات في كلا السلسلتين لتكوين جزيء حلقى مغلق •

(٢) فيروسات د ن أ مفرد (أحادى) السلسلة : ss DNA viruses

تحتوى بعض الفيروسات البكتيرية (الفاج) الصغيرة (مثل فاج فاي أكس ١٧٤ - (174×10^3) ذو الشكل " المتعدد الأوجه ico-sahedron وكذلك فاج اف - ١ F1 وفاج ام ١٣ M13 ذات - الشكل الحلزوني helical وكذلك الفيروسات الحيوانية المعروفة باسم فيروسات بارفو Parvoviruses على حمض نووى د ن أ مفرد السلسلة Single - stranded DNA وتحتوى جزيئات الفيروسات البكتيرية دائما على نسخ من نفس سلسلة الحمض النووى د ن أ وتسمى هذه السلسلة باسم " السلسلة الفيروسية " Viral strand وهذا يعنى أن السلسلة الفيروسية التى تستخلص من جزئين فيروسين فى نفس النوع لا يكونا السلسلة الحلزونية المزدوجة Double-helix للحمض النووى د ن أ ، أو بمعنى آخر لا تكمل احدهما الأخرى .

وتختلف الفيروسات الحيوانية عن الفيروسات البكتيرية السابقة الذكر ، ففيروونات الفيروسات من نوع أدينو adeno-associated viruses تحتوى بعض جزيئاتها على احدى السلسلتين ، وبعضها الآخر على السلسلة الأخرى ، وبذلك فان سلاسل الحمض النووى د ن أ المفرد السلسلة Single - stranded viral DNA المستخلص من جزيئات فيروونات أدينو adeno-associated viruses تكمل بعضها الأخرى ، وعند تعريضها لظروف التحام annealing condition السلاسل ، فانه تتكون السلاسل الحلزونية المزدوجة double-helix المعروفة للحمض النووى د ن أ .

(٣) فيروسات ر ن أ مزدوجة السلسلة : ds RNA viruses

يتميز الحمض النووى ر ن أ المزدوج السلسلة بنقطة انصهار melting point حادة مميزة (نقطة انصهار الحمض النووى هى درجة الحرارة التى تنفصل عندها سلسلتى الحمض النووى ، وهى تختلف

من حمض نووى لآخر على حسب نسبة كل من القواعد النيتروجينية فى هذا الحمض ، فأزواج الأدينين والثيمين ترتبط برابطة ثنائية بينما أزواج الجوانين والسيتوزين ترتبط برابطة ثلاثية ، لذلك ... فكلما احتوى الحمض النووى على نسبة أعلى من الجوانين والسيتوزين كلما كانت نقطة الانصهار للحمض النووى منخفضة ، والعكس بالعكس — كما ذكر آنفاً) .

كما أن الحمض النووى رنأ المزدوج السلسلة يتميز بمقاومته لفعل الأنزيمات المحللة للحمض رنأ (RNase) Ribonuclease .

ومن أمثلة الفيروسات الحيوانية التى تحتوى على حمض نووى رنأ مزدوج السلسلة فيروسات الريبو Reoviruses التى تصيب الإنسان وحيوانات أخرى ، وفيروس البولى هيدروس السيتوبلازمى Cytoplasmic polyhedrosis viruses الخاص بديدان (الحرير) القز .

ومن أمثلة الفيروسات النباتية فى هذا النوع من الفيروسات وهى فيروسات أورام الجروح Wound tumor viruses وفيروس تقزم الأرز Rice dwarf viruses وتتميز هذه الفيروسات كلها بالقدرة على تجزأ المادة الوراثية genome segmentation . ففيروسات الريبو Reovirus الكاملة تحتوى على عشرة أجزاء أو أكثر لا تماثل بعضها البعض فى ترتيب القواعد النيتروجينية ، ويصل عدد هذه القواعد فى كل سلسلة الى حوالى ٢١٠٠٠ قاعدة نيتروجينية . ولا تتجزأ هذه الأحماض النووية الكاملة بطريقة عشوائية ، ولكنها عادة تتجزأ فى أماكن محددة يمكن تمييزها بطرق خاصة . كما أن أجزاء الأحماض النووية فى بعض الفيروسات يمكنها الالتحام بأجزاء أخرى بروابط غير متكافئة noncovalent bonds بواسطة قطع صغيرة من small stretches من أزواج القواعد Base-pairs . والأجزاء المختلفة من هذه الأحماض النووية الريبوزية تحمل المعلومات الوراثية لبناء البروتينات الفيروسية المختلفة وتنقل هذه المعلومات بواسطة الحمض النووى م — رنأ m-RNA لى تترجم بواسطة ريبوسومات الخلية الى بروتينات .

(٤) فيروسات رنأ مفرد (أحادى) السلسلة ss RNA Viruses

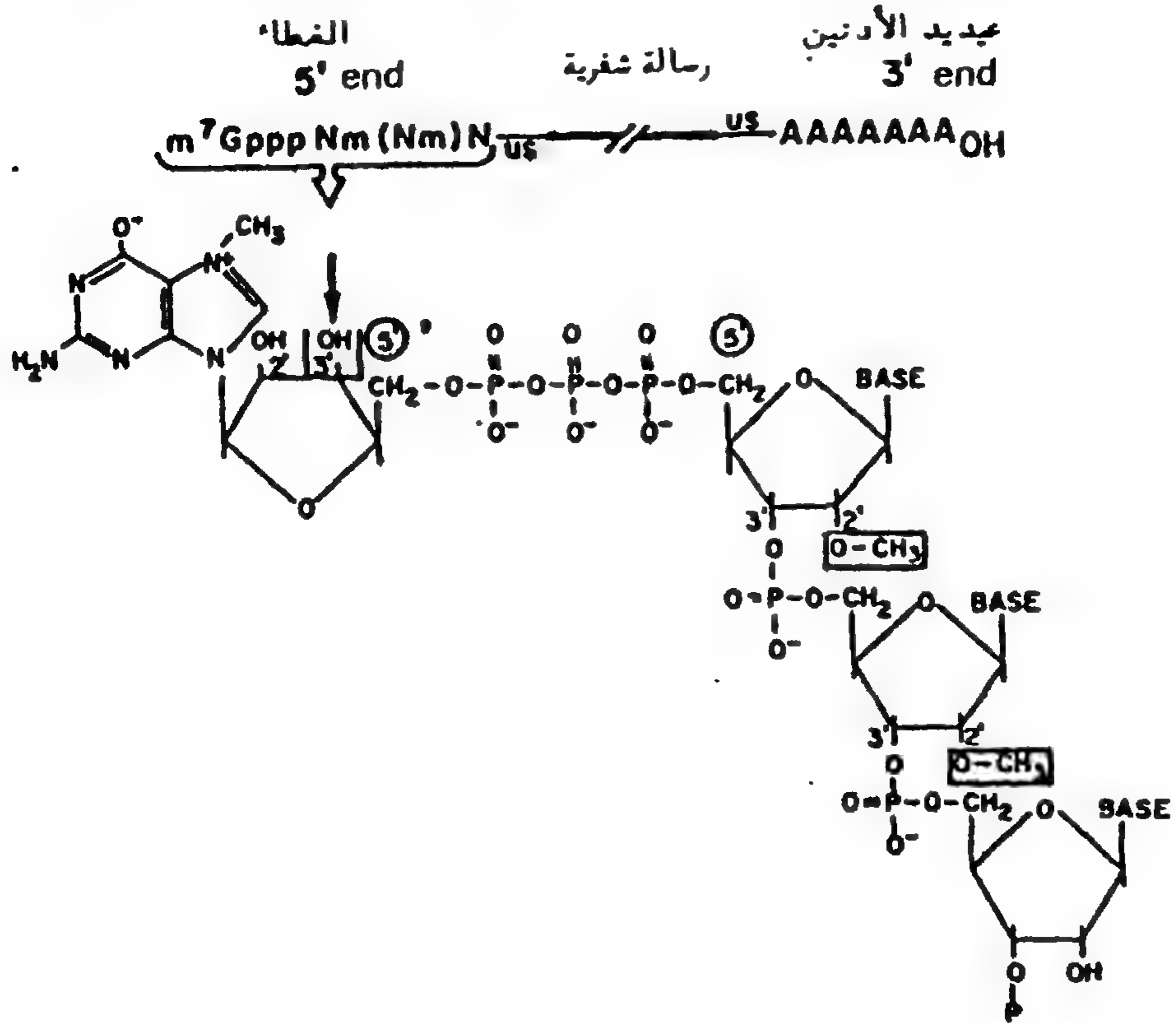
تحتوى الكثير من الفيروسات سواء الحلزونية helical أو متعددة الأوجه Icosahedral على حمض نووى ريبوزى مفرد السلسلة ذو عدد من القواعد النيتروجينية يتراوح بين ألف الى سبعة عشر ألف قاعدة نيتروجينية . وقد تظل المادة الوراثية هذه فى قطعة واحدة أو تتجزأ الى اجزاء ذات أطوال مختلفة . وتنقسم الفيروسات التى تحتوى فيروساتها على الحمض النووى الريبوزى المفرد السلسلة الى قسمين أساسين هما:

أ- الفيروسات التى تحتوى على السلسلة الموجبة :

Positive-strand RNA viruses

المقصود بالسلسلة الموجبة هى سلسلة الحمض النووى الريبوزى التى تعمل كما لو كانت حمض نووى ريبوزى مرسال (m-RNA) بمعنى أن الحمض النووى الفيروسي نفسه يتم ترجمة المعلومات الموجودة عليه مباشرة بواسطة الريبوسومات الخلوية . ومعظم فيروسات الحمض النووى الريبوزى مفرد السلسلة هى من هذا النوع، أى تحمل السلسلة الموجبة فى الفيروسات . ويشبه التركيب البنائى الثانوى Secondary structure لهذه الأحماض النووية الفيروسية التركيب البنائى الثانوى للأحماض النووية رنأ مرسال m-RNA (شكل ١٤-١٢) فى الخلايا المائل ، فيوجد عدة قواعد نيتروجينية من نوع الأدينين Poly(A) sequence عند النهاية المميزة بمجموعة فوسفات على ذرة الكربون رقم ٣ فى جزيء الريبوز (3' end) بينما النهاية الأخرى المميزة بمجموعة الفوسفات على ذرة الكربون رقم ٥ لسكر الريبوز (5' end) يوجد عندها غطاء Cap محددانهاية الرسالة الشفوية . والغطاء يتكون من واحد أو اثنين من النيكليوتيدات (Nm) ذات جزيء الريبوز الذى يحمل مجموعة ميثيل على ذرة الكربون رقم ٢ (كما فى المستطيلات الموضحة فى (الشكل ١٤-١٢) ولذلك تكون هذه النهاية (5' end) متميزة بوجود مجموعة هيدروكسيل (OH⁻) على ذرة الكربون رقم ٣ فى سكر الريبوز . وهذا يجعل مثل هذا الحمض النووى الريبوزى المفرد السلسلة مقاوم لفعل الانزيمات النووية التسمى

تحلل الأحماض النووية مبتدئة من ناحية 5' end وتسمى 5' Exonuclease ويشذ عن هذه القاعدة الحمض النووي رنأ المفرد السلسلة لفيروسات البيكورنا Picornavirus حيث لا يوجد غطاء عند النهاية المسماة 5' end ويحل محل الغطاء ترتيب خاص من القواعد النيتروجينية يرتبط بروتين صغير بروابط متكافئة Covalent وقد يعمل هكذا



شكل ١٤-١٢ : رسم توضيحي للتركيب البنائي الثانوي رنأ الفيروسي المفرد السلسلة الموجب والذي يتميز بوجود الرسالة الشفرة بين تركيبات ثانوية خاصة (US) تجعله مقاوماً للتحلل بالإنزيمات الخلوية المحللة للأحماض النووية . فعند نهاية 3' end ينتهي الجزيء بعدد من نيوكليوتيدات الأدينين ، أما عند نهاية 5' end فيوجد واحد أو اثنين من النيوكليوتيدات ذات جزيء الريبوز الذي يحمل مجموعة ميثيل على ذرة الكربون رقم ٢ .

البروتين كنواة لبدء تكوين البروتين — primer عند هذه النهاية لجزيء الحمض النووي رن أ RNA .

أما الفيروسات النباتية ذات الحمض النووي — الريبوزي المفرد والموجب السلسلة ، المحتوية على غطاء cap عند (5' end) ولكنها لا تحتوى على قواعد الأدينين المتعددة Poly(A) sequence فى النهاية الأخرى (3' end) فبدلاً من ذلك فإن هذه النهاية (3' end) تشبه تلك الخاصة بالحمض النووي الريبوزي الناقل ت — رن أ t-RNA والذي يمكن تحميله بـ حمض أميني معين بواسطة انزيم Amino-acyl-t-RNA synthetase وهذه التشابهات بين الحمض النووي رن أ المفرد السلسلة والأحماض النووية رن أ الخلوية يؤكد وجود علاقة بين فيروسات الأحماض النووية رن أ والأحماض النووية رن أ الخلوية .

وقد سبق أن أشرنا أن فيروسات رترو Retroviruses — وهى من فيروسات الحمض النووي رن أ مفرد وموجب السلسلة — تتميز بأنها ثنائية المجموعة الصبغية (الكروموسومية) diploid لاحتواء فيريوناتها على نسختين من السلسلة الموجبة للحمض النووي رن أ الفيروسي مفرد السلسلة مرتبطتان ببعضهما قرب النهاية بروابط هيدروجينية ، ويسهل فصل السلسلتين من بعضهما بالتسخين .

(ب) الفيروسات التى تحتوى على السلسلة السالبة :

Negative-strand RNA viruses

المقصود بالسلسلة السالبة هو أنها السلسلة المكملة Complimentary strand للسلسلة الموجبة ولا تحمل شفرة وراثية ويبنى عليها السلسلة الموجبة قبل بناء البروتين الفيروسي . ولذلك فإن السلسلة السالبة لا يمكن أن تعمل كحمض نووي ريبوزي مرسال m-RNA والسلسلة السالبة لا تحتوى على غطاء Cap عند النهاية 5' end ولكنها تحتوى بدلاً من ذلك على نيكليوسيد ثلاثي الفوسفات nucleoside triphosphate .

(٥) الأحماض النووية الفيروسية المعيبة :

Defective nucleic acids

ان المخزون الفيروسي — سواء كانت الفيروسات تحتوى على أحماض نووية رن RNA أو أحماض نووية دن DNA يحتوى عادة على فيروسات معيبة (ناقصة) لأحد الأسباب الآتية :

- أ — قد تحتوى على جزء من المادة الوراثية الكاملة للفيروس الكامل .
 - ب — قد تحتوى على نفس كمية الحمض النووي ولكن عبارة عن أجزاء صغيرة مكررة من الحمض النووي الفيروسي (وعادة ما تحتوى معلومات التضاعف) .
 - ج — قد تحتوى على حمض نووي مصدره الخلية المائل ، ومثل هذه الفيروسات المعيبة تكون عادة عاجزة عن أحداث الإصابة ، ولكن تكون قادرة على مضاعفة حمضها النووي اذا حقنت في خلايا مصابة بفيروسات سليمة ، وفي هذه الحالة فان الفيروسات السليمة تعمل كمساعد helper لهذه الفيروسات المعيبة ، وقد تتضاعف هذه الفيروسات المعيبة بمعدل أسرع من الفيروسات السليمة المساعدة لأحد الأسباب الآتية :
- (١) تكون الفيروسات المعيبة محتوية على عدة نسخ من الجينومات المسئولة عن تضاعف الحمض النووي .
 - (٢) تؤدي بعض الفيروسات السليمة الى تحول الخلايا الى خلايا سرطانية .
 - (٣) تؤدي بعض الفيروسات المعيبة الى تثبيط تضاعف الفيروسات السليمة التي تغزو الخلايا في نفس الوقت .

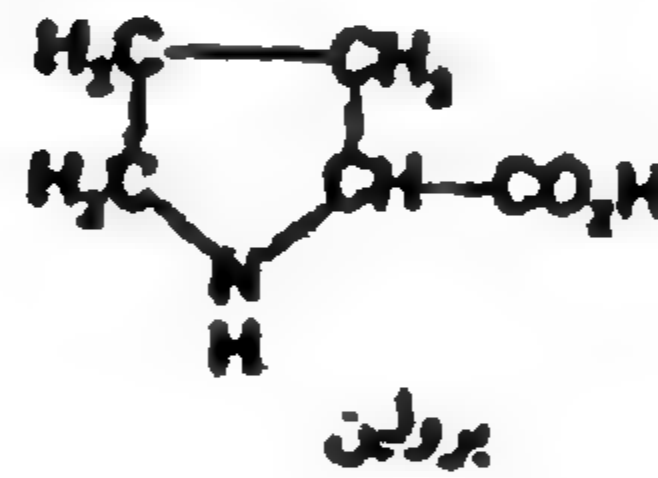
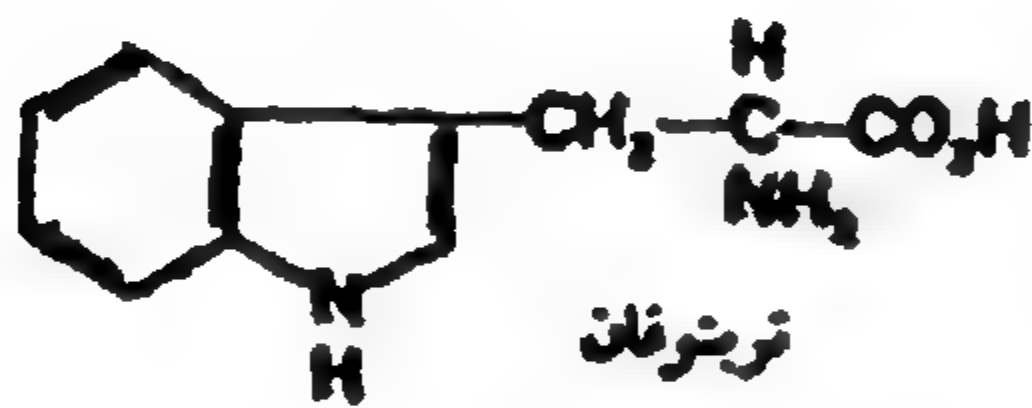
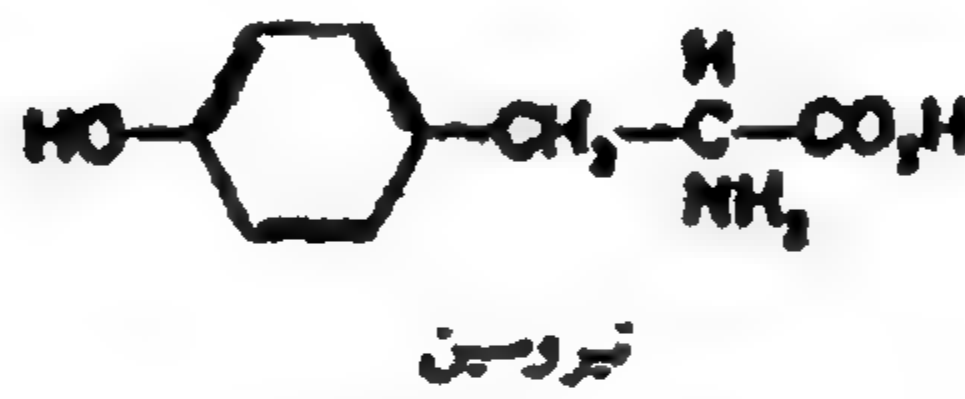
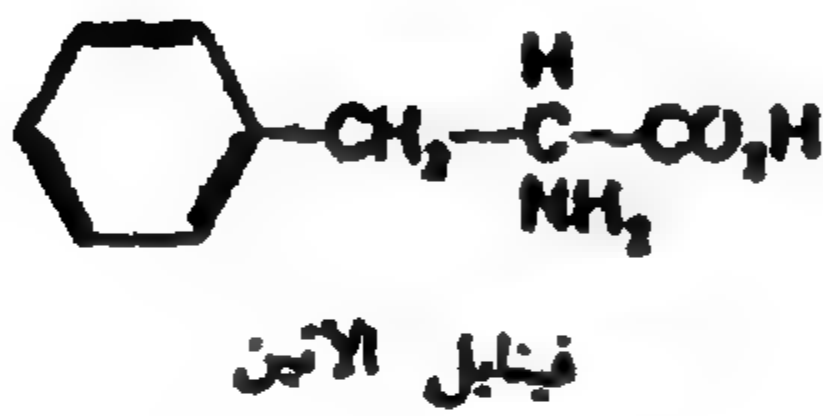
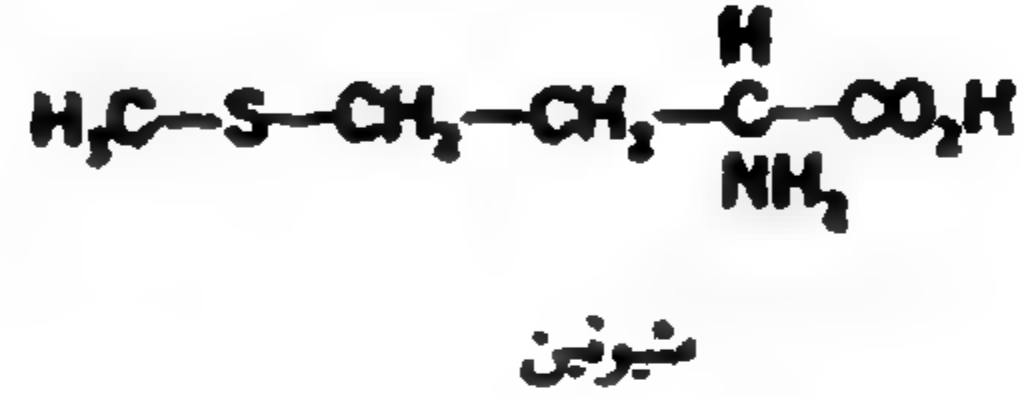
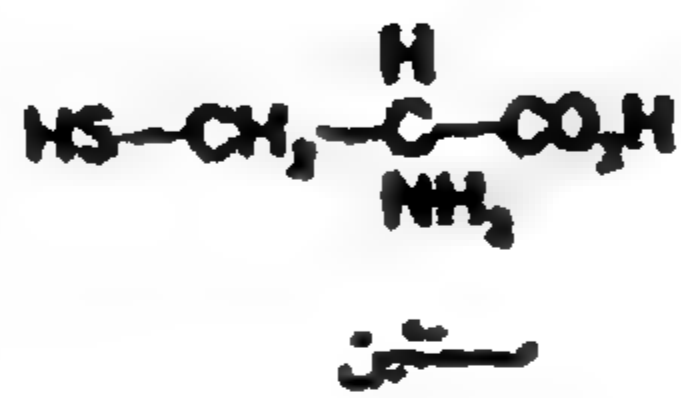
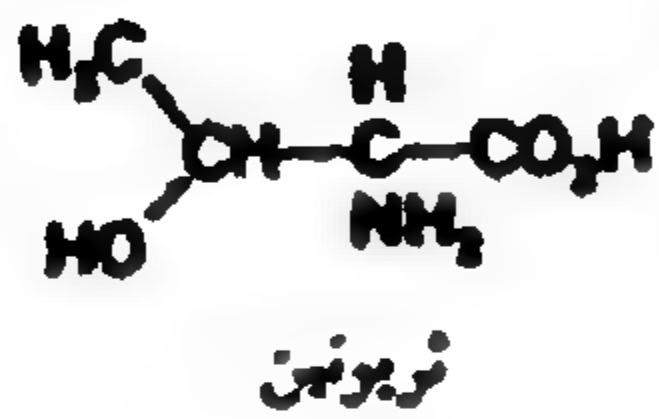
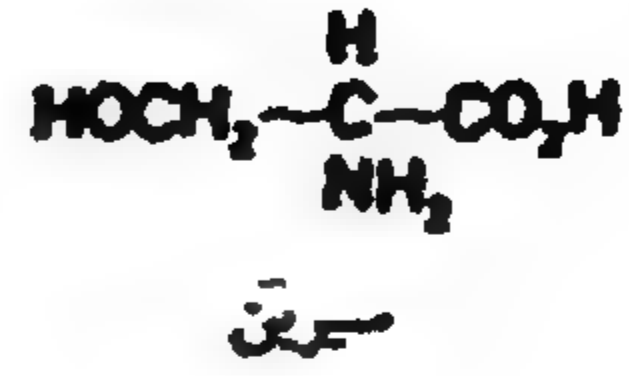
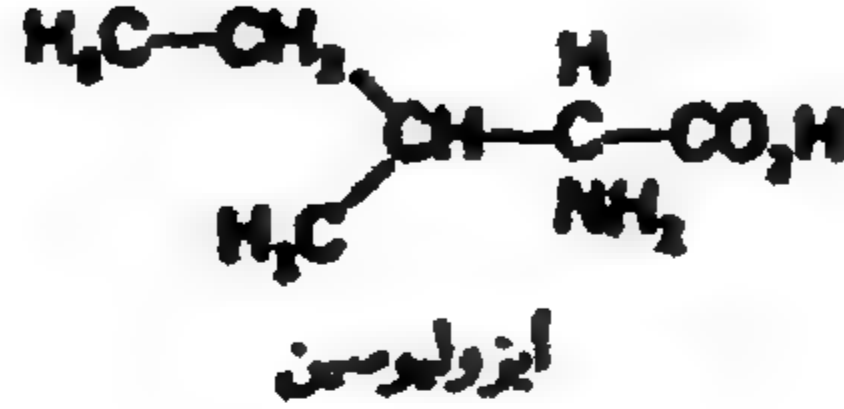
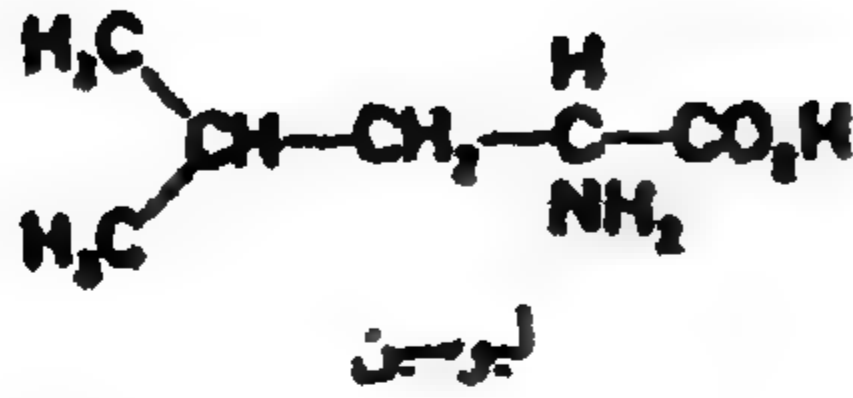
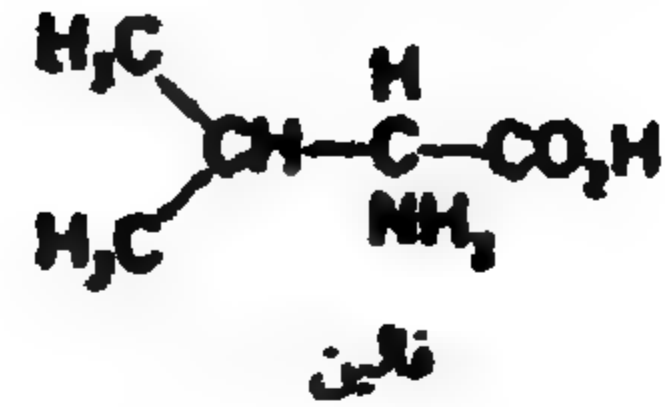
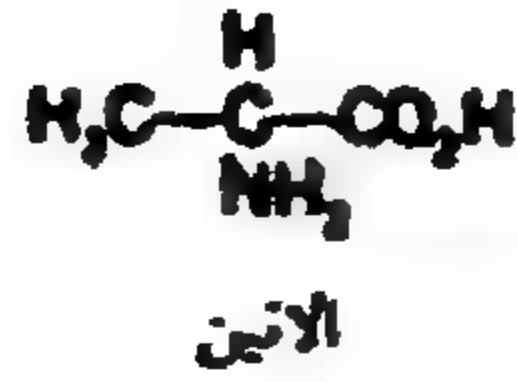
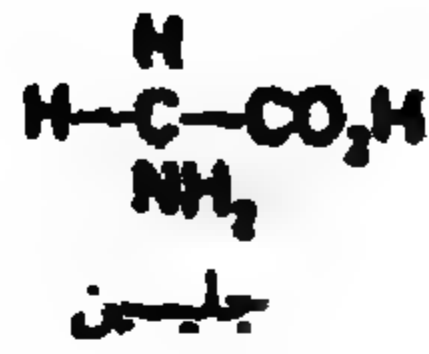
ثانيًا ، الغطاء البروتيني أو المحفظة
Protein Coat or
Capsid

يشكل الغطاء البروتيني المعروف بالمحفظة Capsid معظم كتلة الفيروس ، وخاصة في الفيروسات الصغيرة ... والوظيفة الأساسية للمحفظة في الفيروسات المعراة Naked هي حماية الحمض النووي من الانزيمات المحللة للأحماض النووية الموجودة في السوائل الحيوية ، كما أن المحفظة تلعب دورا هاما في اتصال الفيروس بعائلته .

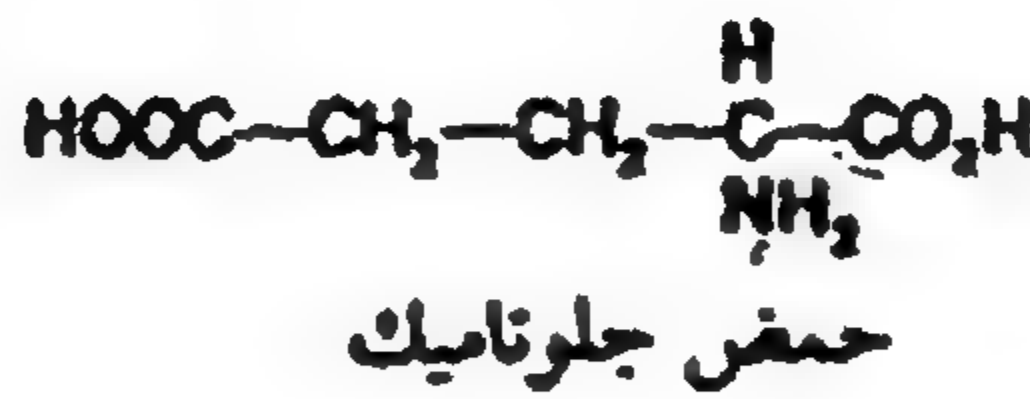
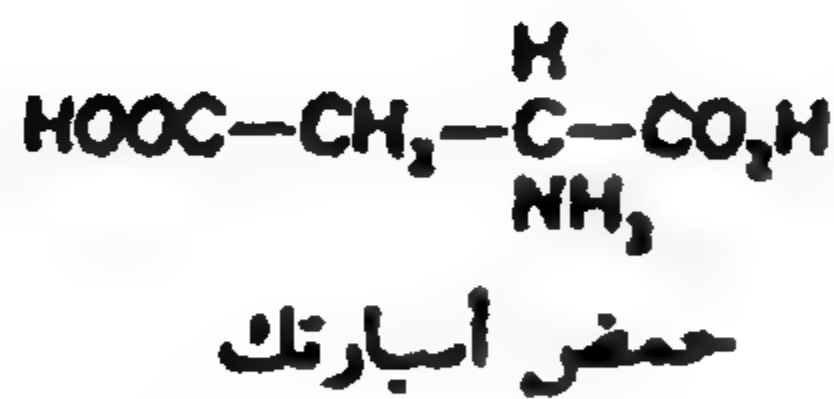
ونظرا لحجم الفيروسات المتناهية الصغر والذي يترتب عليه صغر حجم مادته الوراثية Genome size فان الفيروسات لا يمكنها أن تخصص لاجزاء محدودة من مجموع مادتها الوراثية (عددا محدودا من الجينات Genes) لبناء بروتينات المحفظة ، وعلى ذلك فسان المحفظة لا بد وأن تتكون - بالضرورة - من وحدات بروتينية متشابهة Identical Protein subunits والوحدات البروتينية التي تكون الغطاء البروتيني تسمى الكابسومرات Capsomers ومفردها كابسومر Capsomer.

وربما يكون من المفيد هنا الإشارة الى أن البروتينات عبارة عن مركبات عضوية نيتروجينية ، وتوجد البروتينات في جميع الكائنات الحية ، فهي من المكونات الأساسية لبروتوبلازم الخلايا ، كما أنها توجد في كروموسومات الخلايا ذات الأنوية الحقيقية ... وللبروتينات أهمية حيوية كبيرة في سائر الأحياء ، فمن البروتينات تتكون الانزيمات وهي تلك المواد المسؤولة عن سائر التفاعلات الحيوية في سائر الأحياء . كما أن بعض البروتينات تعمل كهرمونات مثل الانسولين ، وقد أمكن معرفة التركيب البنائي لعدد من البروتينات . والوحدات البنائية لجزيئات البروتينات هي الأحماض الأمينية من نوع (٢٠) الفا ، وتحتوي البروتينات المختلفة على حوالي عشرون حمضا أمينيا مختلفا (شكل ١.٤ - ١.٣) ويختلف ترتيب هذه الأحماض الأمينية ونسبتها في البروتينات المختلفة ، وترتبط هذه الأحماض الأمينية ببعضها في سلسلة بواسطة روابط بيتيدية عن طريق اتحاد مجموعة الكربوكسيل في أحد الأحماض الأمينية بمجموعة الأمين في

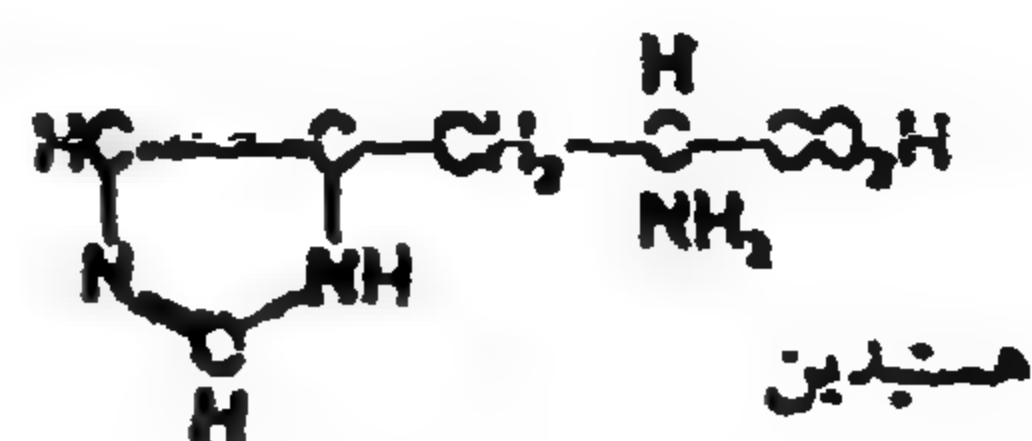
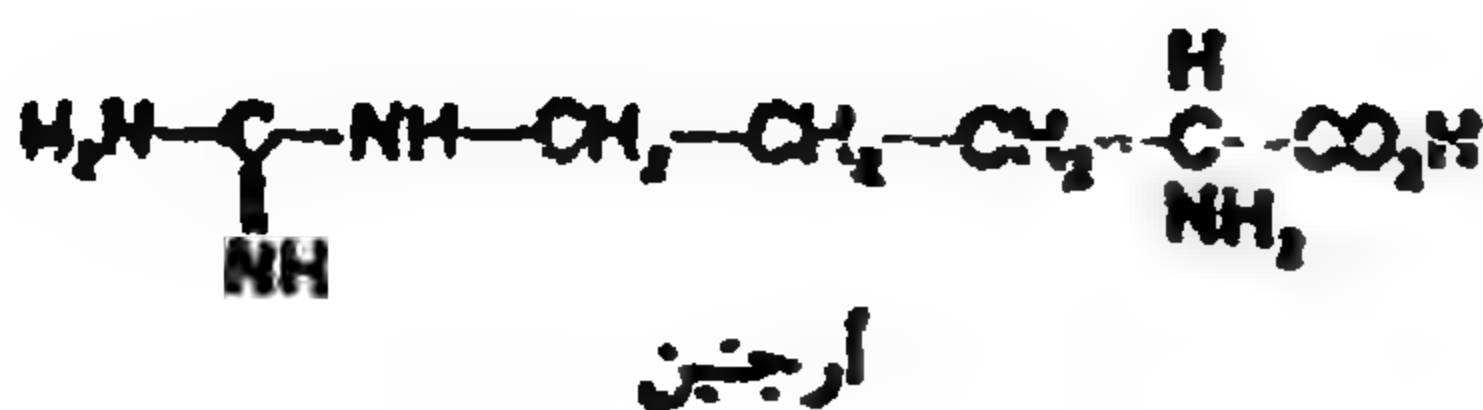
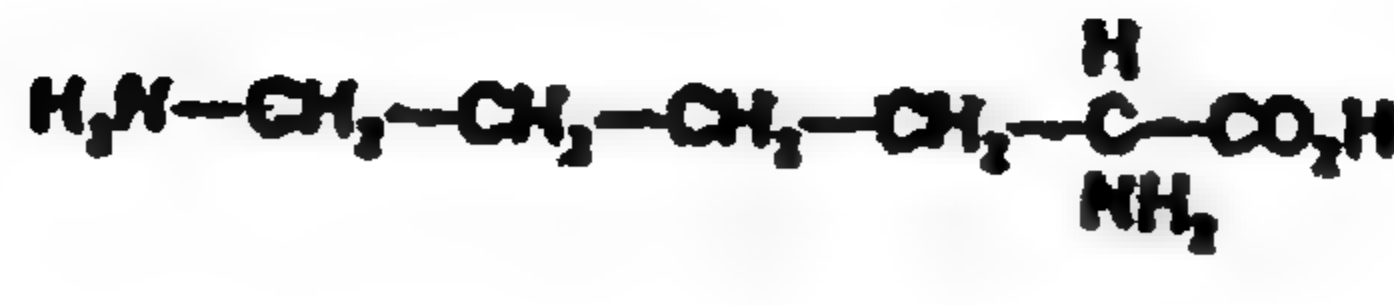
أحماض أمينية متعادلة :



أحماض أمينية حمضية :

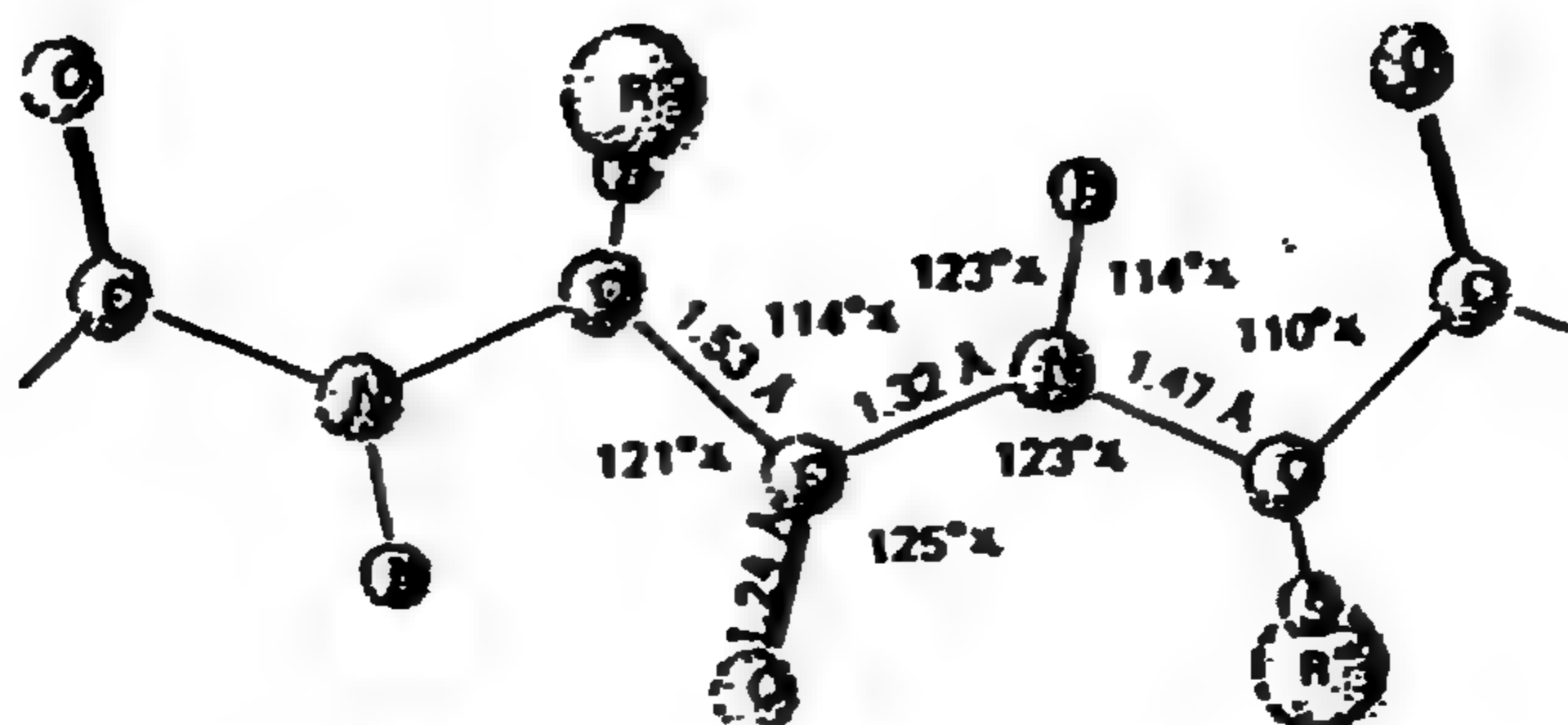


أحماض أمينية قاعدية :

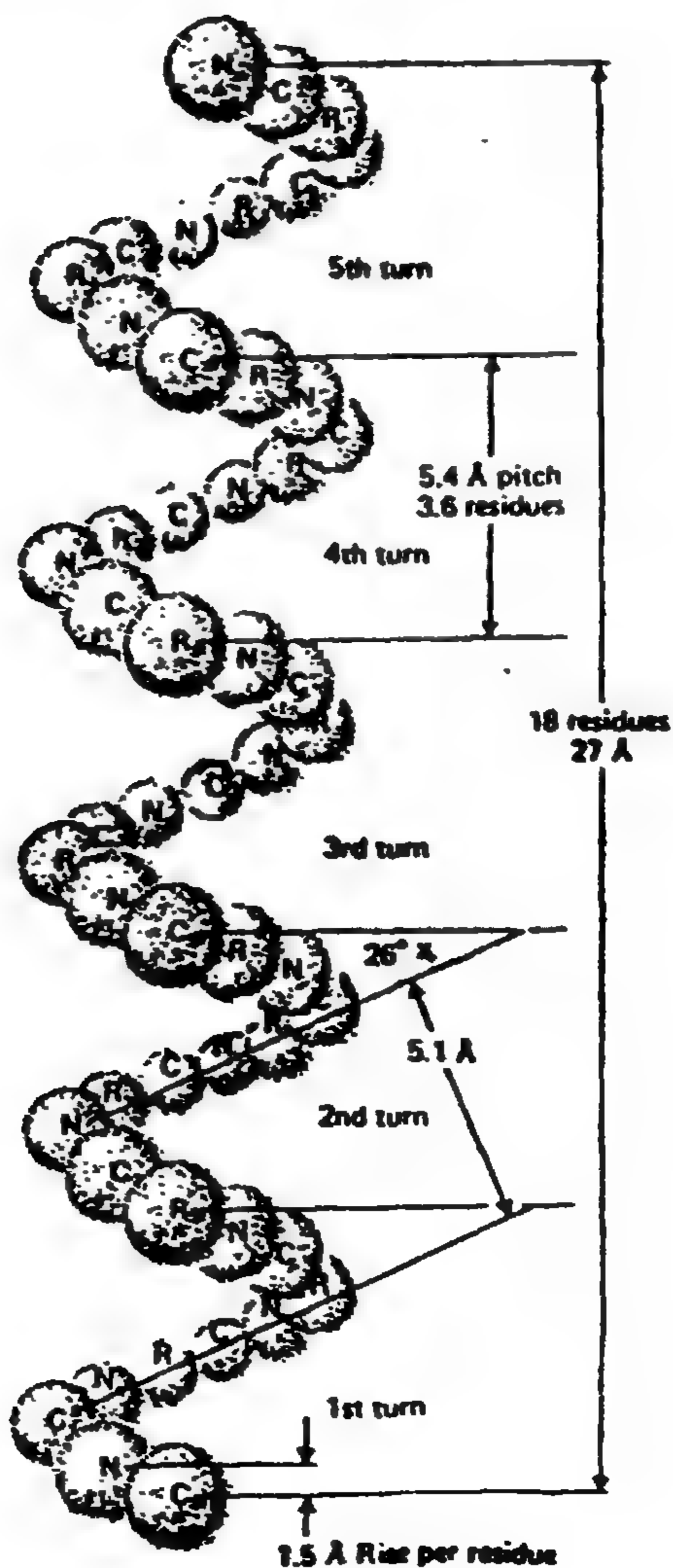


شكل ١٤-١٣ : التركيب البنائي للأحماض الأمينية الشائعة في الطبيعة .

الحمض الأميني التالي له مع فقد جزيء "ما" . وعند تكوين سلسلة مسن
عدد من الأحماض الأمينية فانه يطلق عليها اسم سلسلة بيتيدية . ولكل
سلسلة بيتيدية نهايتان (طرفان) أحدهما يحتوى على مجموعة
كربوكسيل غير مرتبطة ، وتسمى النهاية الكربوكسيلية ، والطرف الثانى
يحتوى على مجموعة أمينية غير مرتبطة ، وتسمى النهاية الأمينية . وتتكون
البروتينات من سلاسل بيتيدية ذات عدد مرتفع من وحدات الأحماض
الأمينية . وللبروتينات مستويات مختلفة من التركيب تتقدم بتقدم مستوى
تعقيد البروتين ، والتركيب الأولى للبروتين Primary structure (شكل
١٤-١٤) يمثل الروابط الببتيدية بين الأحماض الأمينية لتكوين السلاسل
الببتيدية العديدة (البولي ببتيد Polypeptide) . أما التركيب
الثانى للبروتين Secondary structure فهو ينتج عن شكل السلاسل
الببتيدية العديدة فى شكل حلزونى فى أوضاع منتظمة ، أو شكل
لولبى (شكل ١٤-١٥) . وما يثبت هذه اللفات وجود روابط
هيدروجينية بين الأحماض الأمينية المختلفة فى السلاسل الببتيدية
العديدة ، وخاصة بين مجاميع الكربونيل والأميد - أما التركيب الثالثى
Tertiary structure (شكل ١٤-١٦) فهو ينتج عن تكوين طيات
مكثفة وهذا ينتج عن نشاط العديد من أنواع الروابط ، فتتكون روابط
متكافئة Covalent bonds بين جزيئين من أحماض السستئين
Cysteine فينتج عنها رابطة ثنائى السلفيد كما تتكون أيضا روابط أيونية
بين الأحماض الأمينية القاعدية مثل اللايسين والأرجنين وبين الأحماض
الأمينية ثنائية الكربوكسيل مثل الاسبارتيك والجلوتاميك بجزيء البروتين .
كما يشارك فى تكوين التركيب الثالثى روابط كارهة للماء Hydrophobic bonds
التي تنتج من المجموعات العطرية (الحلقية) أو الأليفاتية غير القطبية
بالأحماض الأمينية وروابط محبة للماء hydrophilic والتركيب الرابعى
Quaternary structure للبروتين (شكل ١٤-١٧) يشمل اثنتين أو
أكثر من السلاسل الببتيدية لتكوين جزيء بروتين نشط . ويشارك فى
تثبيت التركيب الرابعى روابط مماثلة للمذكورة فى التركيب الثالثى
للبروتينات .

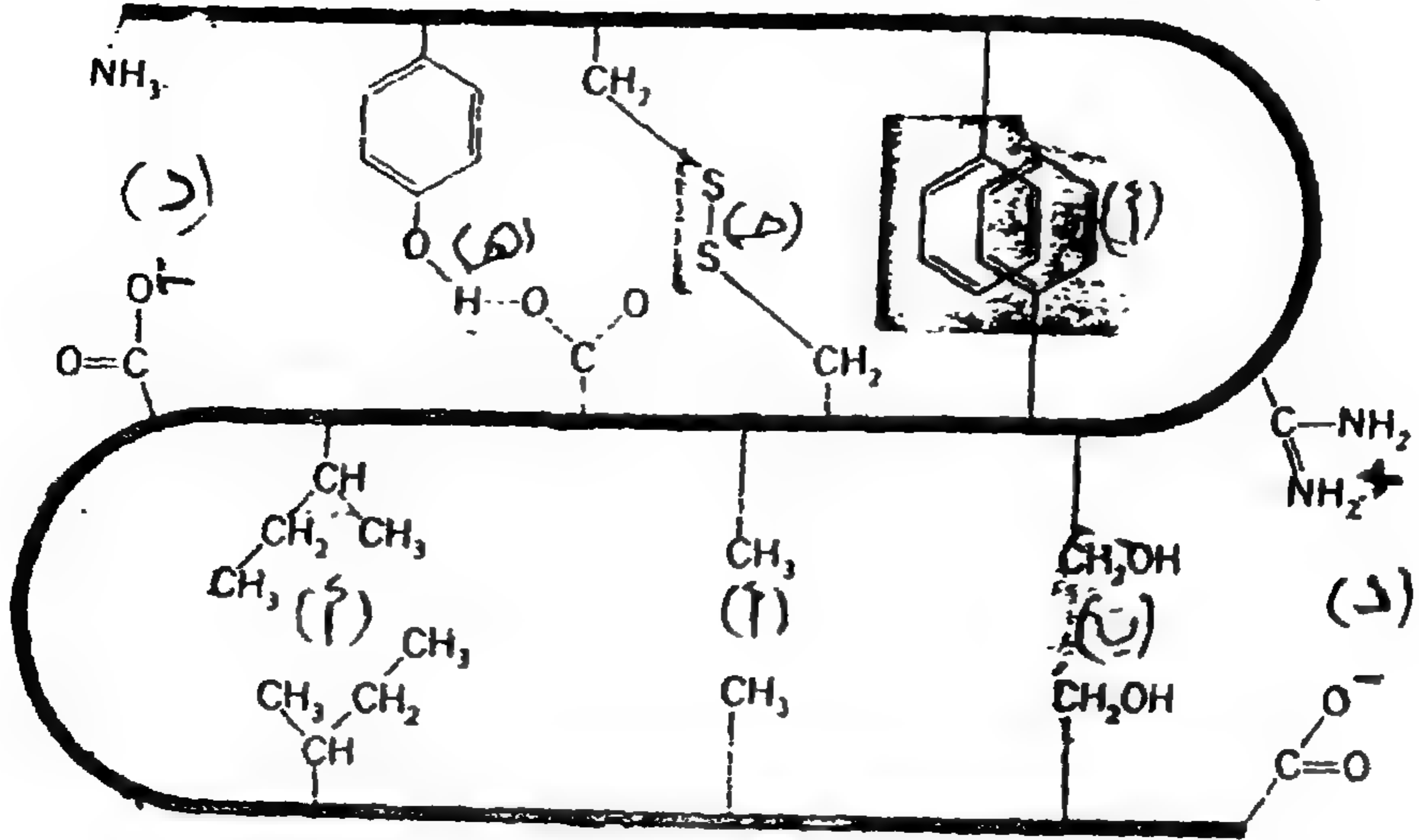


شكل ١٤-١٤ : التركيب الأولي للبروتين موضحا به أبعاد الروابط والزوايا C = ذرة كربون ، N = ذرة نيتروجين ، O = ذرة أكسجين ، R = بقايا جزيء 'حمض أميني'

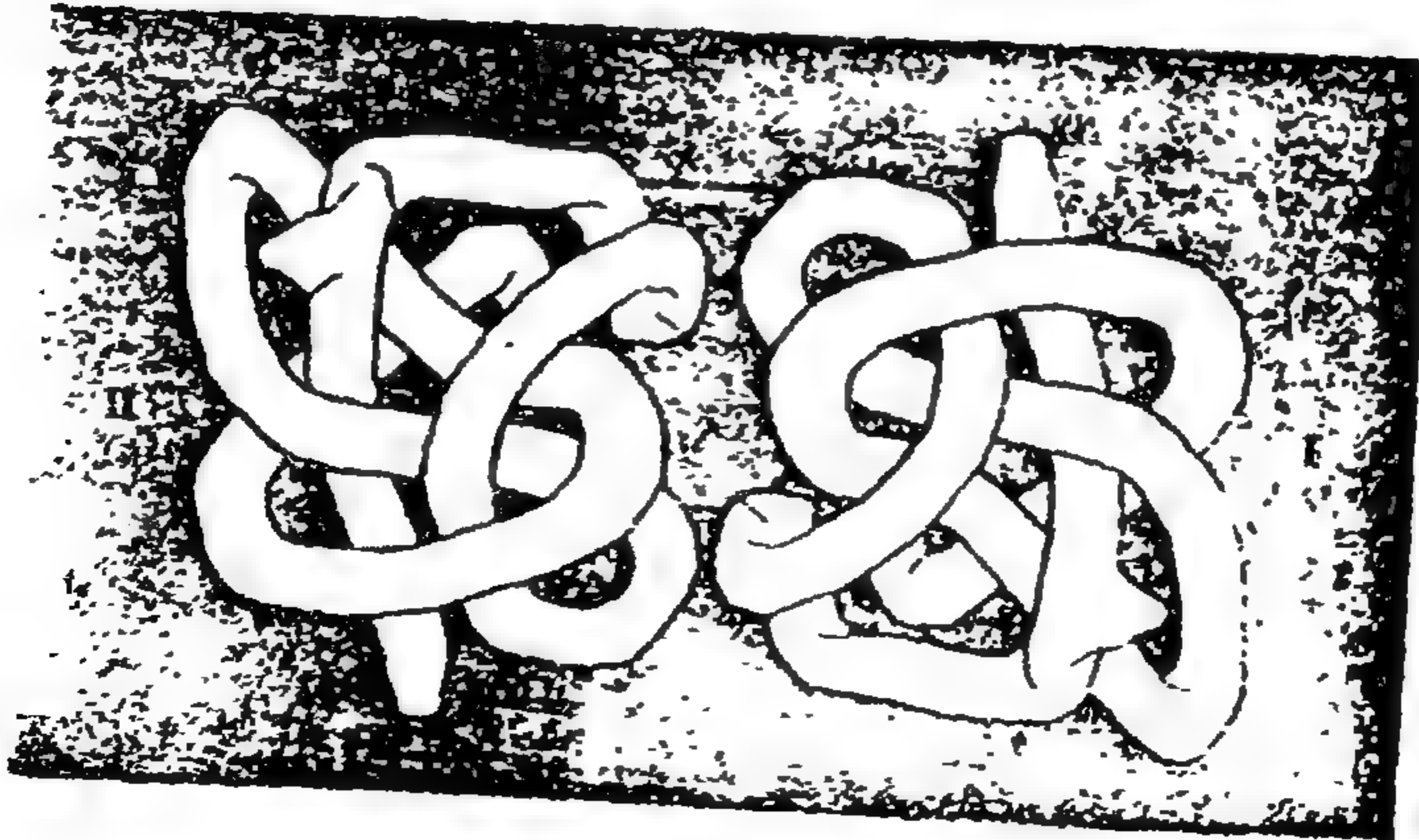


شكل ١٤-١٥ : التركيب الثانوي لعديد الببتيد مع توضيح الزوايا والأبعاد

سلسلة بيتيديدية



- شكل ١٤-١٦ : بعض الروابط التي تسهم في تكوين التركيب الثالث والرابع لجزيئات البروتين ؛
- أ - روابط كارهة للماء .
 - ب - روابط محبة للماء .
 - ج - قطرة ثنائية الكبريت .
 - د - مجاميع الكربوكسيل والأمين الحرة .
 - هـ - رابطة هيدروجينية .



شكل ١٤-١٧ : التركيب الرابع لجزيء بروتين مكون من سلسلتين مسن عديدات الببتيدات .

لذلك ، فان تسلسل الأحماض الأمينية في أى بروتين يعتبر على درجة كبيرة من الأهمية ، وتغير هذا التسلسل قد يؤدي إلى فقد نشاط البروتين . وبناءً على ذلك فان حدوث أى تغير (طفرة) في تسلسل قواعد البيورين أو البيريميدين في الأحماض النووية المسؤولة عن بناء البروتينات قد ينتج عنه تكون أنزيمات خاملة أو بروتينات غير فعالة .

وتقسم الفيروسات وفقاً لنظام ترتيب بروتينات المحفظة إلى قسمين أساسيين وهما الحلزوني helical وعدد الأوجه (Icosahedral) أو Polyhedral) ، وقد يحدث تعديل لهذين التركيبين الأساسيين . فبعض الفيروسات البكتيرية Bacteriophages تحتوى على رأس عدد الأوجه Polyhedral مرتبط بذيل ذو تركيب حلزوني helical .

ومن الملاحظ حديثاً عدم وجود الغلاف البروتيني في بعض الفيروسات النباتية وتتكون فقط من حمض نووي رنأ RNA عادي والتي سميت بواسطة العالم دينير ١٩٧١ بالفيروس Viroid والتي تسبب أمراضاً هامة لكثير من النباتات البذرية مثل الدرنه المفزلية في البطاطس : PSTV وغيرها .

أقسام الفيروسات وفقاً لنظام ترتيب البروتينات

(١) الفيروسات (الحلزونية) ذات التركيب الحلزوني :

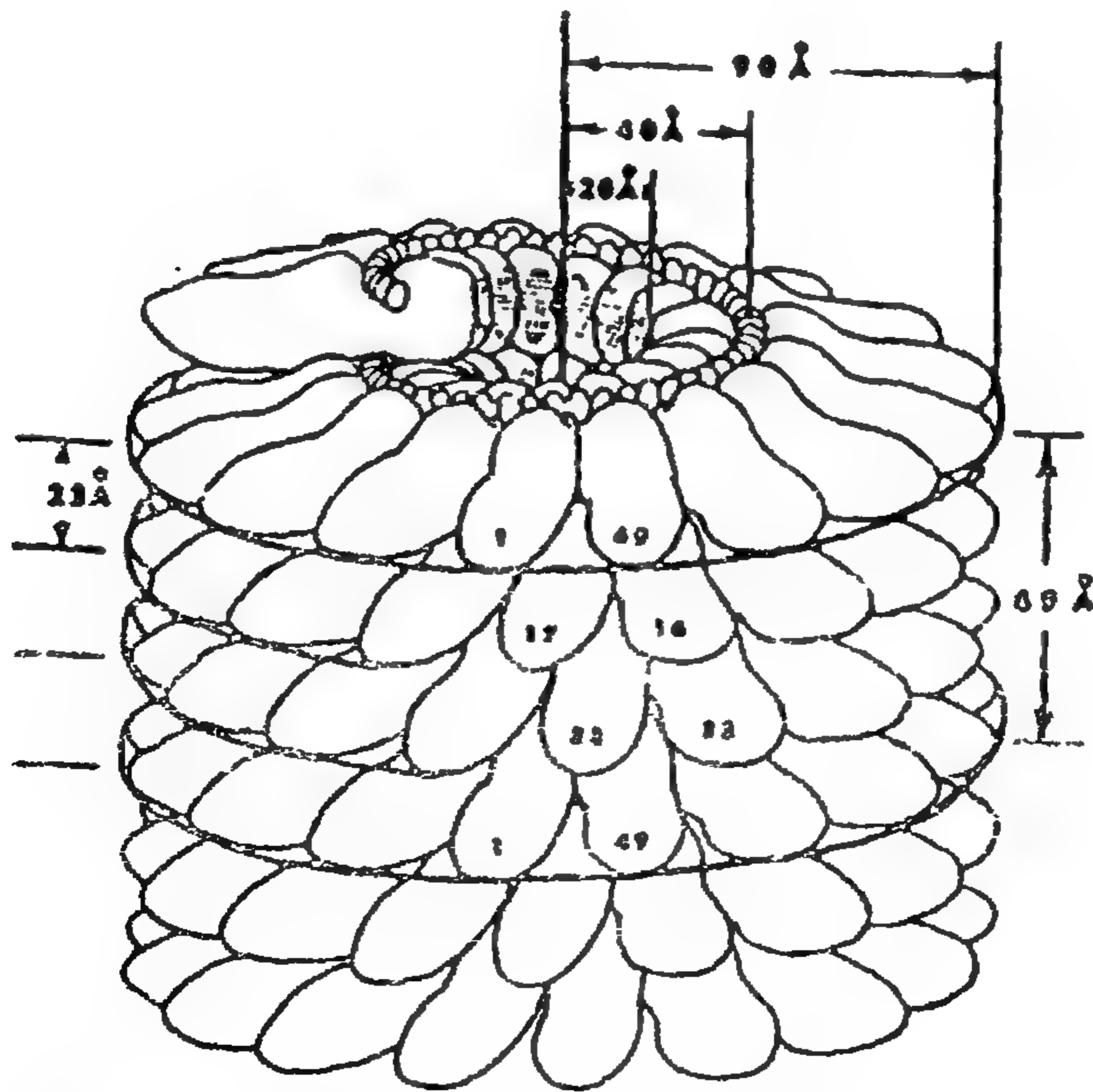
Helical viruses

معظم الفيروسات الحلزونية تكون المادة الوراثية فيها سلسلة مفردة من الحمض النووي رنأ RNA ، والغطاء البروتيني Protein Coat أو المحفظة الموجودة في معظم الفيروسات الحلزونية تكون عادة عبارة عن نوع واحد من البروتين ، ويسمى بروتومر Protomer .

وأكثر الفيروسات الحلزونية التي درست باستفاضة هي فيروس تبرقش الدخان Tobacco Mosaic Virus (TMV) (شكل ١٤-١٨) وهو عبارة عن فيروس يحتوى على حمض نووي رنأ مفرد السلسلة ss RNA

virus) وتشكل سلسلة الحمض النووي هذه حلزونا يمر داخل تجويف خاص في وحدات البروتين . وبناءً على ذلك تأخذ وحدات البروتين ترتيباً حلزونياً أيضاً ، وتتصل كل وحدة بروتوم بثلاث قواعد نيتروجينية على الحمض النووي الريبوزي .

وترتبط وحدات البروتوم بالوحدات المجاورة لها من كلا الجانبين بروابط متماثلة مكونة عند فردها شريطاً Ribbon كما تتصل وحدات البروتوم في كل دورة بوحدات البروتوم أعلاها وأسفلها . ونظراً لأن الوحدات لا تصطف فوق بعضها تماماً فإن كل وحدة بروتوم ترتبط بوحدتين بروتوم أعلاها ووحدتين بروتوم أسفلها ، وهذا الترابط بين وحدات البروتوم يدعم ثبات الفيروونات ، فتبدو في شكل عصويات صغيرة كما في (شكل ١٤-١٨) .



شكل ١٤-١٨ : رسم توضيحي للتركيب الحلزوني لفيروسات
موزايك الدخان

والوزن الجزيئى لوحدات البروتومر هو ١٧٥٠٠ دالتون ، وكل دورة من دورات الحلزون تحتوى على $\frac{1}{16}$ وحدة بروتين بمعنى أن كل ٤٩ وحدة بروتين تكون ثلاث دورات كاملة ، ويكون ارتفاع الثلاث دورات ٦٩ أنجستروم ، وأن الدورة الواحدة بناءً على ذلك يكون ارتفاعها ٢٣ أنجستروم ، ويكون قطر الحلقة التى يكونها الحمض النووى الريبوسى ٨٠ أنجستروم ، أما قطر التجويف داخل جسيم الفيروس فهـو ٤٠ أنجستروم ويكون القطر الكامل لجسيم الفيرون ١٨٠ أنجستروم ويحتوى جسيم الفيروس الكامل على حوالى ٢٠٠٠ وحدة بروتين و ٦٠٠٠ قاعدة نيتروجينية ، وله محور دورانى واحد axis of rotation symmetry عند خط مركز الأسطوانة .

وتشبه كثير من الفيروسات النباتية فى تركيبها فيروس تبرقش الدخان TMV وان اختلفت الأبعاد ، فيتحدد طول الفيرون بطول سلسلة الحمض النووى ، ويتحدد قطره بحجم وحدات البروتومر ... كما أن عدداً من الفيروسات الحيوانية تكون ذات شكل حلزونى أيضاً ، ولكن عادة ما يكون تركيبها الحلزونى سائب أو أقل ارتباطاً وملتو بصورة غير منتظمة داخل غلاف خارجى كما فى بعض أنواع فيروسات ميكسو Myxov-iruses مثل فيروس مرض النيوكاسل Newcastle disease virus وفيروس الغدة النكفية mumps virus ، وعادة ما يمكن ملاحظة التركيب الحلزونى فى مثل هذه الفيروسات الحيوانية فى صور المجهر الالكترونى ، وربما يكون هذا التركيب الحلزونى غير المتسقيم السائب أو الأقل ارتباطاً (مقارننا بالتركيب الحلزونى المستقيم لفيروس تبرقش الدخان TMV) هو ما يجعل وجود الغلاف envelop الخارجى ضرورياً لحماية الحمض النووى من الأنزيمات المحللة للأحماض النووية nucleases والتى تكثرفى السوائل الحيوية .

(٢) الفيروسات متعددة الأوجه :

Icosahedral or polyhedral viruses

معظم الفيروسات متعددة الأوجه تكون المادة الوراثية فيها هى

الحمض النووي دن أ مزدوج السلسلة DNA ، والصورة التي يتواجد عليها الحمض النووي داخل الغطاء البروتيني في الفيروسات متعددة الأوجه تختلف عن تلك التي ناقشناها في الفيروسات الحلزونية ، فالغشائغ المتاح داخل الغطاء البروتيني يكفى بالكاد لكمية الحمض النووي التي تحمل الصفات الوراثية الخاصة بفيروس معين ، لذلك يتحدد ترتيب وحدات البروتين المكونة للغطاء البروتيني وفق كمية الحمض النووي المراد تغليفها .

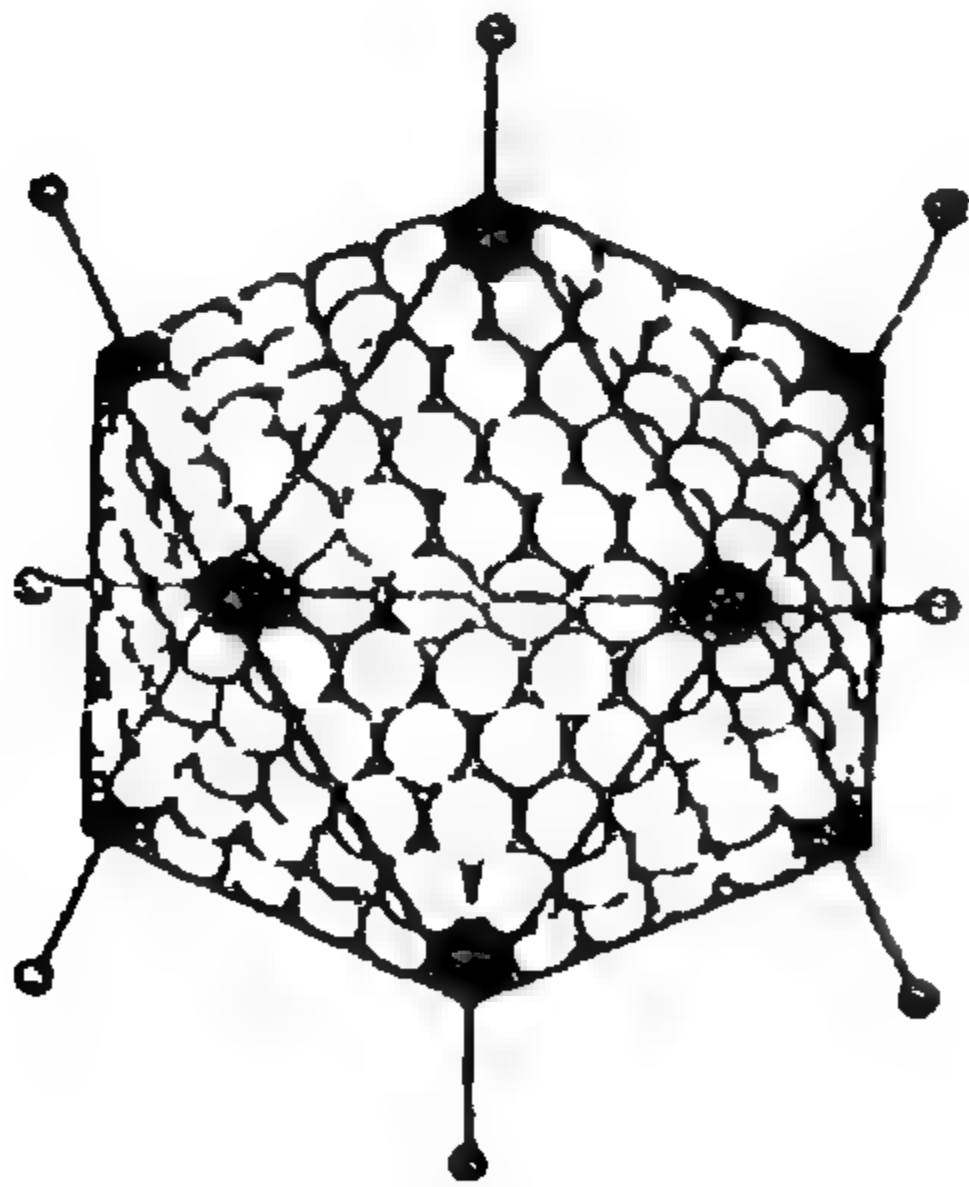
فالحمض النووي مع بعض بروتينات خاصة في الفيروسات متعددة الأوجه يكون معبأ داخل الغطاء البروتيني تعبئة محكمة tightly packed في الفراغ المتاح حيث يكون الحمض النووي ثنيات متوازية حول فراغ أسطوانى دقيق . ونظرا لشدة انضغاط هذه الثنيات فانه يوجد درجة محدودة من انفصال السلسلتين limited DNA denaturation للحمض النووي دن أ .

وتحتوى الفيروسات الحيوانية متعددة الأوجه (Icosahedral) والتي تكون مادتها الوراثية عبارة عن دن أ مزدوج السلسلة DNA على بروتينات قاعدية تشبه الهستونات (الهستونات هي بروتينات قاعدية توجد مرتبطة بالكروموسومات في خلايا الأحياء ذات النواة الحقيقية) .

ويؤدى وجود هذه البروتينات القاعدية مع الحمض النووي دن أ الى تكوين ما يعرف باسم شبيهات الكروماتين Chromatin like structure وشبيهات الكروماتين هي التي تتضغط بشدة داخل الغلاف البروتينى ، مثلها في ذلك مثل انضغاط الكروماتين في كروموسومات الأحياء ذات النواة الحقيقية .

وينبغى الإشارة الى أن التركيب عديد الأوجه لا يقتصر على الفيروسات الحيوانية فقط ، بل ان بعض الفيروسات النباتية وكثيرا من الفيروسات البكتيرية (الفاج) تكون ذات تركيب عديد الأوجه أيضا .

ويتكون الغطاء البروتيني للفيروسات عديدة الأوجه سواء نباتية أو حيوانية أو بكتيرية من وحدات بروتينية متعددة السلاسل تسمى الكابسومرات Capsomers . ويمكن تمييز هذه الكابسومرات في صور المجهر الإلكتروني للفيروسات المصبوغة بالصبغ السالب Negative staining كحلقة بها ثقب مركزي . ويوجد نوعين من الكابسومرات ، النوع الأول من الكابسومرات تتصل بخمس كابسومرات مجاورة لها . وهذه تسمى بنتامرات Pentamers أو بنتونات . (وكلمة بنتا Pentons تعني خمسة) وتوجد البنتامرات عند رؤوس المثلثات (شكل ١٤-١٩) في المحفظة . وتتكون عادة من خمس بروتومرات Protomers مرتبطة ببعضها بروابط غير متكافئة Noncovalent bonds ، والنوع الثاني من الكابسومرات هي الهكسامرات hexamers أو الهكسونات hexons وهي ترتبط مع (٦) كابسومرات مجاورة ، وتتكون عادة من ستة بروتومرات Protomers وتوجد الهكسونات عند أوجه المثلثات (شكل ١٤-١٩) ، وترتبط البروتومرات مع بعضها لتكون الكابسومرات كما ترتبط الكابسومرات مع بعضها لتكون الغطاء البروتيني بروابط غير متكافئة Noncovalent bonds . وان كانت الروابط بين البروتومرات أقوى من مثيلتها بين الكابسومرات .



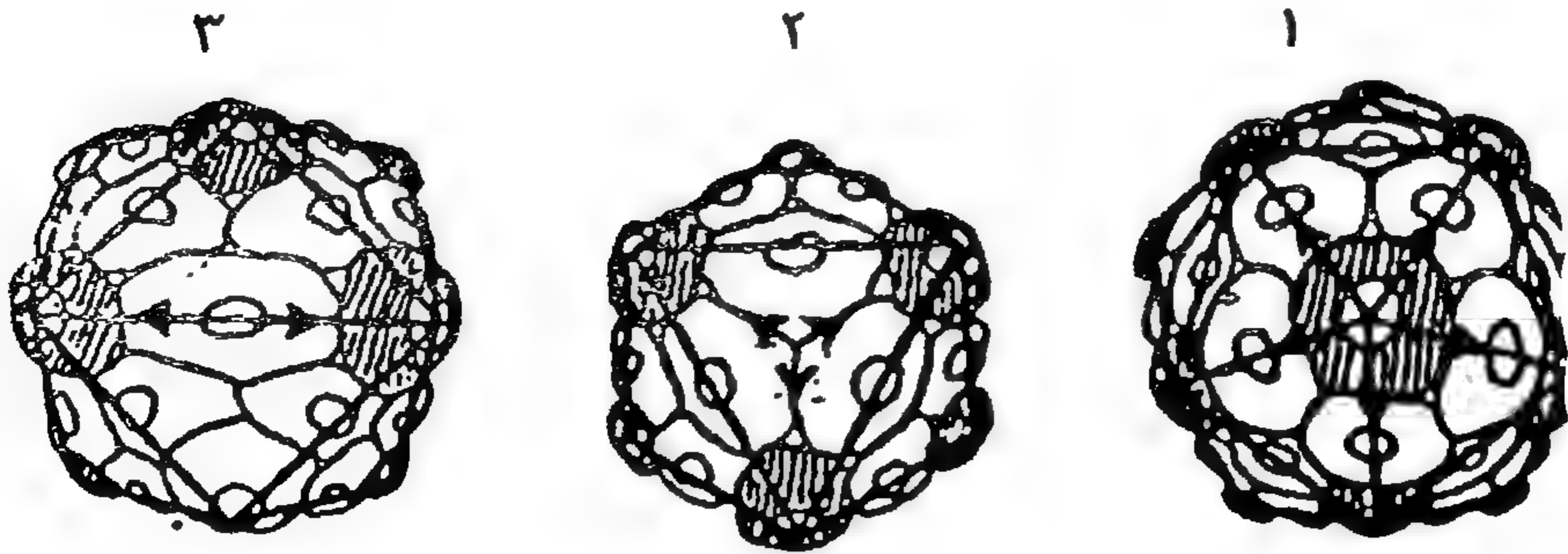
نمى ١٤-١٩ : التركيب عديد الأوجه لاحظ وجود البنتامرات دوائر مغلقة والهكسامرات دوائر مفتوحة .

ويخضع تكوين الأشكال عديدة الأوجه Polyhedral بواسطة Crystallography حيث تكون الأجسام عديدة الأوجه بتجميع أعداد محددة من البنتامرات

والهكسامرات ، فأصغر جسم عديد الأوجه Polyhedral يمكن تكوينه يجب أن يحتوى على (١٢) اثني عشر بنتامرات بدون أى هكسامرات ، والأكبر من ذلك مباشرة يجب أن يحتوى على (١٢) اثني عشر بنتامرات ، و (٢٠) عشرون هكسامرات ، وأكبر فيريون ذو شكل متعدد الأوجه يحتوى على (١٤٧٢) ألف وأربعمائة واثنان وسبعون كابسومرات ، وهو أحد الفيروسات التى تصيب الحشرات . ويؤدى تجمع الهكسامرات مع بعضها بدون بنتامرات الى تكوين صفائح يمكن أن تتحول الى أشكال اسطوانية ، ولكنها لا يمكنها تكوين أجسام متعددة الأوجه . لذلك لا توجد فيروسات متعددة الأوجه مكونة من هكسامرات فقط ، ومن الضرورى وجود البنتامرات لتكوين الشكل عديد الأوجه .

والفيروسات عديدة الأوجه لها ثلاث أنواع من المحاور الدورانية
(شكل ١٤-٢٠) .

شكل ١٤-٢٠ : المحاور الدورانية فى الفيروسات متعددة الأوجه :



- (١) المحور الخماسى يمر من مركز النيوكليوكابسيد الى البنتامرات .
- (٢) المحور الثلاثى يمر من مركز النيوكليوكابسيد الى الهكسامرات .
- (٣) المحور الثنائى يمر من وسط الحافة البارزة بين مثلثين الى مركز النيوكليوكابسيد .

أنواع المحاور الدورانية :

(١) المحاور الخماسية : Five fold axes

وهي تربط مركز النيوكليوكاسيد بمركز البنتونات عند الاثنى عشر ركنا التي تحتوى على البنتونات على الشكل متعدد الأوجه ، وقد سميت هذه المحاور بالخماسية لأنه يبدو للعين خمس صور متطابقة تماماً عند دوران الفيرون دورة كاملة حول هذا المحور .

(٢) المحاور الثلاثية : Three fold axes

وهذه المحاور تمر في مركز المثلث بين ثلاث من الهكسامرات ، وعند دوران الكابسيد دورة كاملة تتكون ثلاث صور متطابقة .

(٣) المحاور الثنائية : Two fold axes

وهي المحاور التي تمر في وسط الحافة البارزة بين مثلثين^{٠٠} والشكل متعدد الأوجه في هذه الحالة يقال عنه انه ذو محاور دورانية ٥ : ٣ : ٢ — كما في الشكل ١٤ — ٢٠ .

وتحتوى الفيروسات الحيوانية عديدة الأوجه عادة على بنتونات ذات بروتومرات مختلفة عن البروتومرات الموجودة في الهكسونات ، ولكن الفيروسات النباتية ، وكذلك الفاج المحتوى على الحمض النووى رن RNA ذات الأوجه العديدة تحتوى على نفس البروتومرات في كلا من البنتونات والهكسونات . ولذلك تكون البروتومرات في الحالة الأخيرة على درجة من المرونة تسمح لها بتكييف وضعها وزاوية ارتباطها في كلا من البنتونات والهكسونات . أما البروتومرات في الفيروسات الحيوانية فلا مرونة لها مما يجعلها اما جزء من البنتونات فقط أو الهكسونات فقط .

بعض الاختلافات في تركيب الغطاء البروتيني عديد الأوجه :

في بعض فيروسات الأدينو Adenoviruses تحتوي الهكسونات على ثلاث بروتومرات ترتبط كل منها بكلا البروتومرتين الأخرتين في الهكسون . أما في الفيروسات ذات الكابسيد الكبير مثل مجموعة فاج تي ٢ وبعض فيروسات الأدينو Adenoviruses وفيروسات الهريس herpesviruses تحتوي على عدة سلاسل مختلفة من السلاسل الببتيدية ، وكل هذه السلاسل لا تخل بالمحاور الدورانية . كما أن المحفظة في فيروسات الريو Reoviruses الذي يتكون من طبقتين من البروتومرات يخضع أيضا لما قيل عن المحاور الدورانية في الفيروسات عديدة الأوجه دون أي خلل .

(٣) الفيروسات ذات التركيب المزدوج : Binal

تجمع بعض الفيروسات بين التركيبين الحلزوني وعديد الأوجه في جسم واحد ، وذلك كما في مجموعة الفاجات الكبيرة مثل فاجات تي مزدوجة الأرقام Teven phages حيث يكون الرأس ذو التركيب عديد الأوجه ، أما الذيل فهو ذو تركيب حلزوني ، ويحتوي الرأس على الحمض النووي الخاص بالفيروس ، ويمثل الذيل القناة التي يحقن بها الحمض النووي الخلية المائل .

ثالثا ، الغلاف : The envelope

ليس لكل الفيروسات غلاف ، فالكثير من الفيروسات ليس له غلاف . ولكن الغلاف الموجود في بعض الفيروسات يشبه في تركيبه الغشاء الخلوي ، فهو يحتوي على الدهن والبروتينات وذو سطحين أحدهما داخلي والآخر خارجي . والدهن الموجود في الغلاف يكون عادة ناتج من الغشاء الخلوي للخلية المائل ، أما البروتينات فهي نوعان وهما الجليكوبروتين glycoproteins والبروتين الشبكي Matrix Protein .

(١) الجليكوبروتين : Glycoprotein

وهي الطبقة المعرضة للسطح الخارجى من الفيروسات، وهذه البروتينات تحتوى على أصل جلوكوز مرتبط فى النهاية المحبة للماء 'hydr-ophilic من جزئى البروتين والتي تكون تجاه الوسط الخارجى للفيروس. أما النهاية غير المحبة للماء 'hydrophobic من الجزئى ، فتتكون مرتبطة فى طبقة الدهن متجهة لداخل جزئى الفيروس . وقد تمتد طبقة الجليكوبروتين هذه لترتبط بالبروتين الشبكي matrix protein أو حتى بالمحفظة capsid فى الغطاء البروتينى . وتكون طبقة الجليكوبروتين مميزة غالبا فى صور المجهر الالكترونى حيث تظهر فى صورة حبيبات دقيقة على شكل بروزات spikes على السطح الخارجى للفيروس .

يبلغ طول هذه البروزات فى فيروس الانفلونزا ١٠ نانومتر ، وتبعد عن بعضها مسافة ٧-٨ نانومتر ، وهى ذات نوعين مختلفين وهما :

- ١- بروزات التلازن الدموى Hemagglutinating spikes
- ٢- بروزات أنزيم النيورامينيداز Neuraminidase enzymes spike

ورغم أن الجليكوبروتين ذو وظيفة حيوية هامة للفيروس ، إلا أنها لا تشكل أهمية كعنصر فى تركيب غلاف الفيروس نفسه ، حيث أن الطفرات المتحصل عليها فى فيروسات فيروسات الباراميكس Paramyxoviruses والتي فقدت القدرة على تكوين الجليكوبروتين لا يختلف شكلها الظاهرى عن الفيروسات العادية ، ولكنها تفقد قدرتها على غزو الخلايا .

(٢) البروتين الشبكي : Matrix Protein

وهو النوع الثانى من البروتينات التى تشكل الغلاف ، ولا ترتبط به مجموعة جلوكوز كما فى البروتين الأول . ويكون هذا البروتين الطبقة الداخلية من الغلاف فى فيروسات ارتوميكس Orthomyxo

وباراميكسو Paramyxo والرابدو Rabdoviruses ... ويبدو أن هذا البروتين يشكل حلقة الوصل بين الغلاف والمحفظة .

وبروتينات الغلاف مثلها مثل بروتينات المحفظة تتكون بواسطة جينات فيروسية ولها صفات أنتيجينية مميزة للفيروسات ، بينما تكون أصول الدهون والكربوهيدرات في الجليكوبروتين معتمدة في تكوينها على الخلية المائل . وهي تختلف على فيروسات نفس الفيروس المتحصل عليه من خلايا مختلفة . وعلى ذلك فالفيروسات قد تحتوى على سطحها كربوهيدرات ودهون من مصدر خلوي .

وفي عدد من الفيروسات المغطاة (أو ذات الغلاف) تؤدي الطبيعة الزيتية لطبقة الدهن مع غياب الروابط بين وحدات بروتين الغلاف الى منع تكوين غلاف ذو قوام متماسك ، وينتج عن ذلك أشكال متعددة Pleomorphism لفيروسات الفيرس الواحد . وفي الحقيقة فان عددا من الفيروسات المغلفة ذات التركيب الحلزوني أظهرت أشكالا مختلفة عديدة عند تجفيفها للفحص بالمجهر الالكتروني .

وقد سبق الإشارة الى ذلك في جزء سابق .

ويجب أيضا الإشارة الى أن فيروسات الرابدو Rabdoviruses المعروفة بشكلها المميز الذي يشبه الرصاصة Bullet shaped هو من الفيروسات الحلزونية ذات الغلاف الخارجي وفيروسات ألفا Alphaviruses حيث تلتصق الطبقة الدهنية بشدة الى النيوكليوكايسيد nucleocapsid ما يؤدي الى ظهور فيروساتها في صورة كروية مستديرة .

دهون الغلاف:

ويؤدي وجود الطبقة الدهنية في بعض الفيروسات ذات الغلاف الى جعل فيروساتها حساسة للمذيبات العضوية كالأثير ، ويستخدم

الاثير للتمييز بين الفيروسات المغلفة عن تلك الغير مغلفة ، وتتراوح نسبة المواد الدهنية Lipids في بعض الفيروسات بين ٥ الى ٢٤ ٪ (جدول ١٤ - ٣) . وتحتوى دهون معظم الفيروسات على الفوسفوليبيدات .

رابعاً : المكونات الأخرى للفيرونيات

Other virion components

اضافة الى البروتينات السابقة ، تحتوى بعض الفيرونيات على بروتينات داخلية - قاعدية بصفة عامة - والتي ترتبط مع الأحماض النووية فى لب Core الفيرون . ففي فيرونيات فيروس بابوفا Papova virus تكون هذه البروتينات عبارة عن الهستونات العادية من الخلايا العائـل بينما فى فيرونيات فيروس الأدينو Adenovirus تكون هذه البروتينات مشابهة للهستونات ، وتتكون بواسطة جينات فيروسية . وفى كلتا الحالتين فان هذين النوعين من البروتينات تكون معقدا مع الحمض النووى فى الفيرون يشبه معقد الكروماتين فى الكروموسومات فى الخلايا الحيوانية .

كما يجب الاشارة الى أن بعض أنواع الفاج تحتوى على سلاسل ببتيدية صغيرة أو عديدات الأمين Polyamines وهذه المركبات عديدة الكاتيون Polycationic يبدو أنها تساعد فى احكام تعبئة الحمض النووى بواسطة ربط الأطراف المختلفة للحمض النووى .

كما تحتوى فيرونيات الـ Reoviruses على حوالى ٢٠٠٠ - سلسلة نووية صغيرة small oligonucleotides وليس لها وظيفة معروفة .

أما الفيروسات المعقدة مثل فيروسات الجدري Poxviruses فان الفيرون يشبه القالب Brick-shaped أو بيضاوى . ويكون الحمض النووى الفيروسى (DNA) مرتبطا ببروتين خاص فى صورة قرص محدب السطحين ومحاط بعدة طبقات من بروتينات دهنية Lipoproteins والطبقة

الخارجية منها تكون ذو تركيب ليفي خشن بما يظهر هذه الفيريونات
المصبوغة صبغا سالبا بمظهر مميز تنفرد به بين جميع الفيروسات ومثمل
الفاجات الكبيرة Large phages : كمجموعة فاج تى المزودة الأرقام
مثل ٢٢ ، ٢٤ ، ٢٦ ، وكذلك فاج لامدا (λ) Lambda
فهى ذات تركيب معقد نسبيا نظرا لاحتوائها على رأس متعدد الأوجه
polyhedral وذيل حلزوني مزود بألياف ذيلية fiberils (شكل ١٣-٢).

الفصل الخامس عشر

تقسيم وتسمية الفيروسات

Viruses classification and Nomenclature

أولاً : تقسيم الفيروسات

تتفرد الفيروسات بصفات خاصة ضمن جميع الكائنات المعدية (الممرضة) فهي كائنات ليس لها تركيب خلوى ، وطورها الخارجى بسيط التركيب جدا ، خامل بيولوجيا (حيويا) ، وهو يتكون أساسا من حمض نووى واحد فقط مغلف بغطاء بروتينى ... وهى متناهية الصغر بحيث لا يمكن رؤيتها حتى بالمجهر الضوئى .

وقد سبق مناقشة ما اذا كانت الفيروسات تعتبر كائنات حيوية أم لا ، وقد افترض معظم العلماء العاملون فى مجال علم الفيروسات فى بداية القرن العشرين أن الفيروسات عبارة عن أحياء خلوية دقيقة لا تختلف عن الأحياء الأخرى الا فى الحجم ، الى أن تم اكتشاف قدرتها على الانتشار خلال الآجار أو ترسيبها بالكحول مع احتفاظها بخواصها الحيوية ، فسميت " أساس السوائل المعدية " Contagious ثم تسم اكتشاف قابلية الفيروسات للتبلور ، وكذلك تم اكتشاف التركيب الكيميائى لها .

ورغم اكتشاف التركيب الكيميائى للفيروسات ومعرفة العديد من خواصها ، فقد وضعت قديما فى قسم منفصل من أقسام البكتيريا (Order Virales : ضمن المملكة النباتية .

ولكن بعد اكتشاف طبيعة الفيروسات وطبيعة البكتيريا أيضا ، فقد فصلت البكتيريا (وهى كائنات لا تحتوى على نواة حقيقية) من المملكة النباتية ووضعت فى مملكة منفصلة سميت مملكة ذوات النواة البدائية (Kingdom procaryote) كما أن الفيروسات لم يصبح وجودها فى المملكة النباتية أو مملكة ذوات النواة البدائية مقبولا للاختلاف الكبير

في طبيعة تركيبها ، وقد قام لووف Lwoff وزملائه عام ١٩٦٢ بتجميع الفيروسات في مجموعات (جدول ١٥-١) وفقا لصفات فيريوناتها : مثل نوع الحمض النووي الداخل في تركيبها وما اذا كان مفرد أو مزدوج السلسلة ، وكذلك شكل المحفظة وحجمها وتنظيمها ووجود أو غياب الغلاف Envelope .

ولا يتبع هذا التقسيم أى علاقة تطورية Evolutionary relationship بين الفيروسات بل يعتمد هذا التقسيم على وضع الفيروسات في مجموعات وفقا لصفات يمكن قياسها بدقة .

ومن الملاحظ في هذا التقسيم أن مدى العوائل التي تصيبها الفيروسات قد أخذت درجة أقل من الأهمية في تجميع الفيروسات في المجموعات المختلفة ، ولكن اختلاف الطرق المتبعة في دراسة الفيروسات قد أدت الى تقسيم الفيروسات بصفة عامة الى :

- أ - فيروسات نباتية وهي الفيروسات التي تصيب النباتات .
- ب - فيروسات حيوانية وهي الفيروسات التي تصيب الانسان والحيوانات .
- ج - فيروسات بكتيرية وهي الفيروسات التي تصيب البكتيريا .

وهذه الأخيرة تسمى بكتيريوفاج Bacteriophage أى لاقمات البكتيريا وعادة ما تختصر الى الفاج phage .

ونظرا للعيوب الواضحة في هذا التقسيم ، فقد تكونت لجنة دولية لتقسيم الفيروسات International Committee on Taxonomy of Viruses (ICTV) وقد تكونت هذه اللجنة من أعضاء يمثلون الجمعيات العلمية الميكروبيولوجية الأعضاء في الاتحاد الدولي للجمعيات الميكروبيولوجية International Union of Microbiological Societies (IUMS) . وقد توصلت هذه اللجنة الى الاتفاق على القواعد العامة لتسمية وتقسيم الفيروسات وقد وافقت اللجنة في اجتماعها الذي عقد في استراسبورج في أغسطس ١٩٨١ أثناء انعقاد المؤتمر الدولي الخامس لعلم الفيروسات من اقرار جميع عائلات ومجموعات الفيروسات وعددها (٥١) واحدا

جدول ٥-١ : تقسيم الفيروسات وفقا لخصائص فيروساتها

أقسام			ملاحظات خاصة		عدد الكاسبرم ^٢	حجم المصفاة بالانجستروم	وزن للجزيء (مغراه)	ترتيبها للمصفاة	الخصائص
فيروسات حيوان	فيروسات نبات	فيروسات بكتيرية							
	مورايك القطن					٣٠٠٠×١٧٥	بشرون للجزيء (مغراه)	طورين	نشا
فيروسات ميكرو						٩٠	مطفاة (بشرون)		
فيروسات بكار اميكرو		٢٢ م				١٨٠			
						٢٥٠ - ٢٠٠	مغراه	مطبة الارجح	
فيروسات ميكورنا	المنظوم المستورد في الصين TBSV				٢٢	٢٨٠			من أ
فيروسات ربيو					٩٢	٧٠٠			
		٢٤ م				٥٠٠ × ٥٠	مغراه	طورين	
فيروسات الجدي (بوكينا)						١٠٠ - ٩٠	مطفاة		
		٢٢ م			١٢	٢٢٠	مغراه	مطبة الارجح	
فيروسات بكاروليسا					٧٢	٥٥٠ - ٤٥٠			
فيروسات أدنينسو					٢٥٢	٩٠٠ - ٦٠٠			
فيروسات البهربريس					١٦٢		مطفاة		
		٢٢ م				٦٥٠×٩٥٠ ١١٥٠×١٧٠ للجزيء	مغراه مغراه للجزيء للجزيء	مركب أو مطبة	

وخمسون (جدول ١٥-٢) ، وهى تلك الفيروسات التى تغزو الفقاريات واللافقاريات والنباتات والبكتيريا . ويوضح الجدول ١٥-٢ شكل الفيروسات المختلفة مرسومة بنفس مقياس الرسم لا عطاء دلالة تقريبية عن شكل وحجم الفيروسات مقارنة بمقارنا بعضها ببعض ، ولكنه لا يمكن اتخاذ هذه الأشكال كوسيلة تعريفية لعدة أسباب:

(١) الفيروسات المختلفة فى نفس العائلة قد تختلف الى حد ما فى الشكل والحجم ، فبعض العائلات مثلت فى الرسم بفرد مشهور منها ذو قياسات محددة ، وبعض العائلات الأخرى أخذ متوسط أبعاد أفرادها . حيثما وجدت اختلافات كبيرة فى قياسات أفراد عائلة ما فقد أجرى عمل رسمين كما فى حالة عائلة اينو Inoviridae .

(٢) بعض الفيروسات - وخصوصا الكبيرة ذات الغلاف enveloped - تكون متعددة الأشكال .

(٣) صعوبة قياس أبعاد بعض الفيروسات .

(٤) رسمت الفيروسات الصغيرة بخط يوضح أنها ذات شكل متعدد الأوجه Icosahedral دون تحديد الحجم - أما الفيروسات الكبيرة فقد وضحت حدودها أو حدود قطاعها أو كلاهما لتوضيح علامات مورفولوجية أساسية .

هذا ... وقد وضع أحد أشهر أفراد كل عائلة أو مجموعة ، ولكن الأبعاد والشكل المستعمل قد لا تكون هى تلك الأبعاد نفسها للفيروس المذكور .

أما الجدول (١٥-٣) فقد وضع لتلخيص العائلات والمجموعات وخواصها الأساسية وأسماء العوائل الخاصة بها .

جدول ١٥-٢ : الأشكال والأحجام النسبية ووجود الغلاف
من عدمه ونوع الحمض النووي في عائلات الفيروسات المعروفة









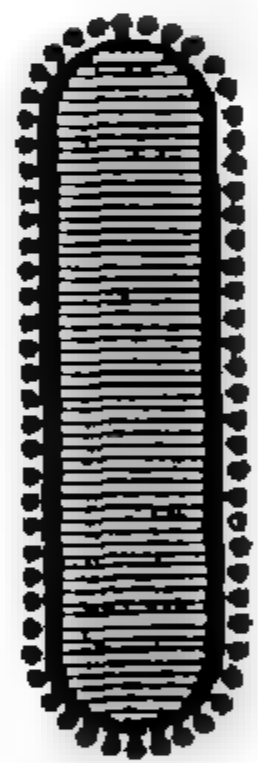










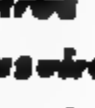


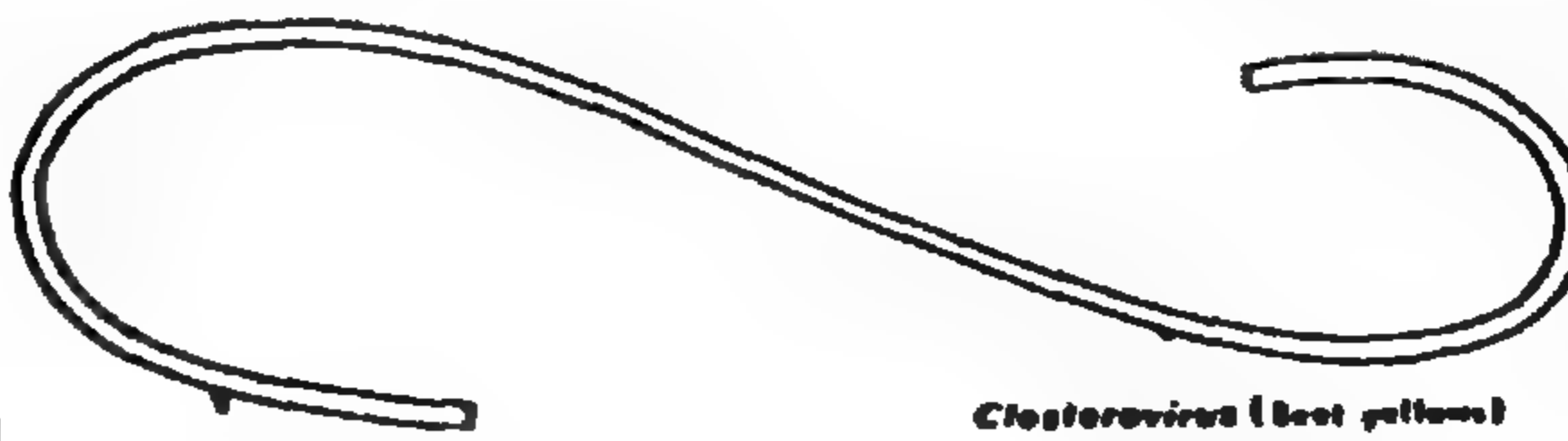
أولا : الفيروسات التي تصيب البكتيريا :

THE FAMILIES OF VIRUSES INFECTING BACTERIA					
NON-ENVELOPED				ENVELOPED	
δ sDNA				δ sDNA	
Myoviridae Symmetric head (P2)	Myoviridae Elongated head (P2)	Styloviridae (A)	Podoviridae (P1)		
				Corticoviridae (P22)	
δ sDNA				δ sRNA	δ sRNA
Inoviridae (MV-11 type)	Microviridae (P174)			Leviviridae (M22)	Cystoviridae (P6)
Inoviridae (16 type)					

تابع جدول ١٥-٢ : الأشكال والأحجام النسبية ووجود
الغلاف من عدمه ونوع الحمض النووي في عائلات ومجموعات الفيروسات
المعروفة .



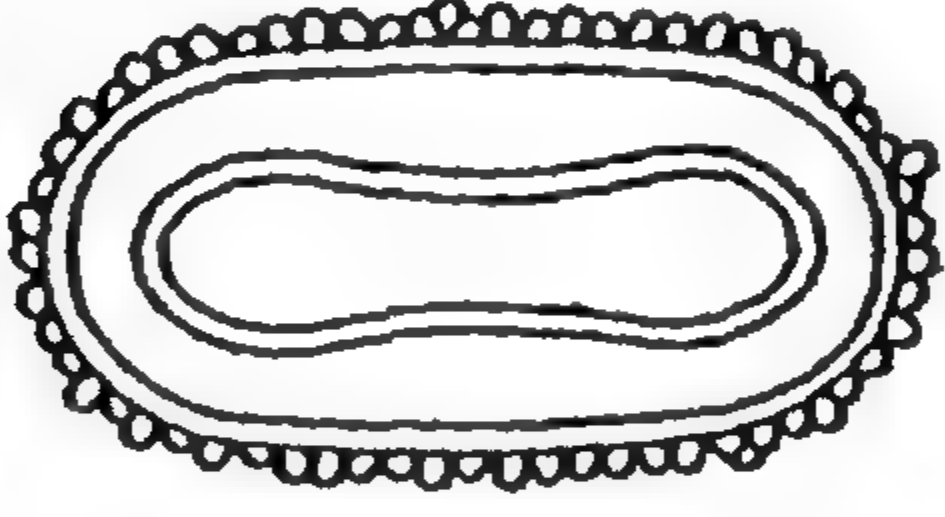
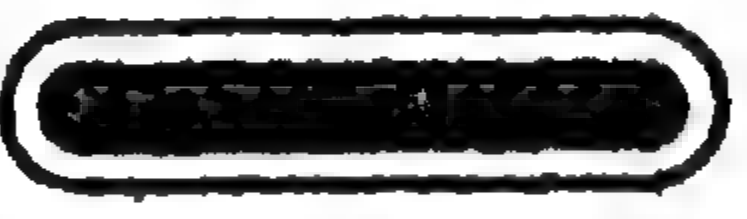



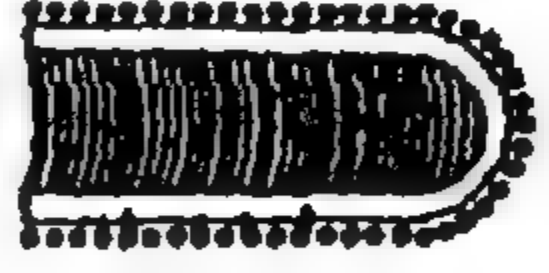


ثانيا : الفيروسات التي تصيب النباتات :

THE FAMILIES AND GROUPS OF VIRUSES INFECTING PLANTS

NON-ENVELOPED			ENVELOPED
dsDNA	ssRNA		ssRNA
 Caulimovirus (Mild yellow mosaic)	 Alfalfa mosaic virus group  Bromovirus (Brome mosaic)	 Hemovirus (Tobacco streak)  Cucumovirus (Cucumber mosaic)	 Hordevirus (Barley stripe mosaic)  Tobravirus (Tobacco etch)  Tobamovirus (Tobacco mosaic)
dsRNA	ssRNA		 Rhabdovirus-like (Lettuce necrotic yellow)
 Reoviridae (Wound tumor)	 Nepovirus (Tobacco ring spot)  Comovirus (Coupes mosaic) Poa annua mosaic virus group  Dianthovirus (Carnation ring spot)	 Potyvirus (Potato Y)  Carlavirus (Carnation latent)  Poliovirus (Potato Y)	
ssDNA	ssDNA		 Tomato spotted with virus group
 Geminivirus (Maize streak)	 Tymovirus (Turnip yellow mosaic)  Tomato virus group  Sedumovirus (Sedum leaf mosaic) Tobacco etch virus group Maize chlorotic dwarf virus group  Curtovirus (Barley yellow dwarf)	 Closterovirus (Beet yellow)	

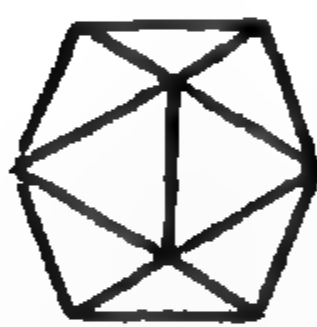


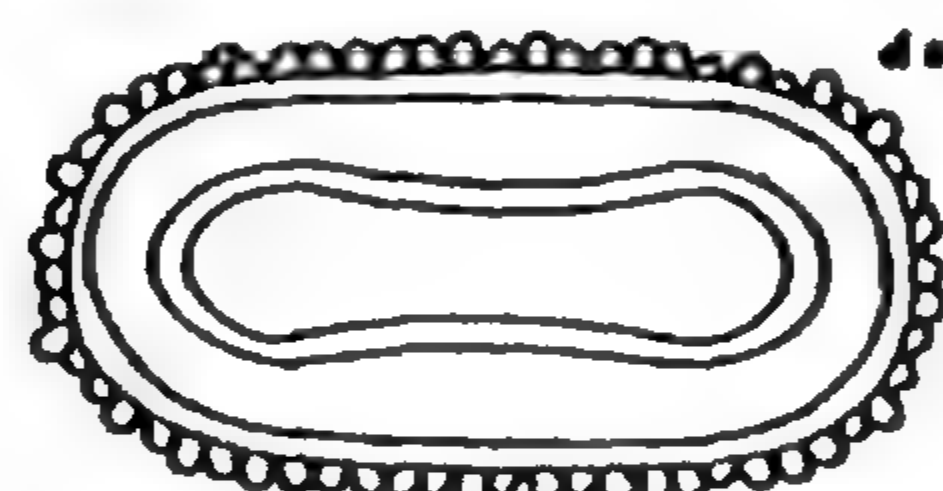




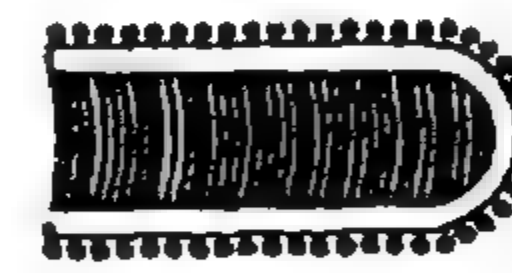




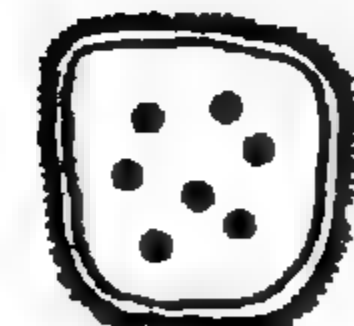



تابع جدول ١٥-٢ : الأشكال والأحجام النسبية ووجود
الغلاف من عدمه ونوع الحمض النووي في عائلات ومجموعات الفيروسات
المعروفة .

ثالثا : عائلات الفيروسات التي تصيب الفقاريات :

THE FAMILIES OF VIRUSES INFECTING INVERTEBRATES			
NON-ENVELOPED		ENVELOPED	
<p>ds DNA</p>  <p><i>Iridoviridae</i> (<i>Iridovirus iridovirus</i>)</p>	<p>ds RNA</p>  <p><i>Reoviridae</i> (<i>Bluetongue orbivirus</i>)</p>	<p>ds DNA</p>  <p><i>Poxviridae</i> (<i>Molluscum contagiosum virus</i>)</p>  <p><i>Baculoviridae</i> (<i>Anomalous nuclear polyhedrosis virus</i>)</p>	
<p>ss DNA</p>  <p><i>Parvoviridae</i> (<i>Densavirus of Galleria</i>)</p>	<p>ss RNA</p>  <p><i>Nodaviridae</i> (<i>Nodamura virus</i>)</p>  <p><i>Picornaviridae</i> (Coxsackie parvovirus virus) p 120 Adenovirus B virus group</p>	<p>ss RNA</p>  <p><i>Rhabdoviridae</i> (<i>Rabies lyssavirus</i>)</p>  <p><i>Retroviridae</i> (<i>Simian immunodeficiency virus</i>)</p>  <p><i>Togaviridae</i> (<i>Sindbis alphavirus</i>)</p>	

تابع جدول ١٥-٢ : الأشكال والأحجام النسبية ووجود
الغلاف ونوع الحمض النووي في عائلات ومجموعات الفيروسات المعروفة
ثالثا : عائلات الفيروسات التي تصيب اللافقاريات:

THE FAMILIES OF VIRUSES INFECTING INVERTEBRATES

NON-ENVELOPED		ENVELOPED	
<p>d DNA</p> <div>   </div> <p><i>Iridoviridae</i> (<i>Tipula iridovirus</i>)</p> <p><i>Adenoviridae</i> (Human adenovirus 2)</p> <div>  </div> <p><i>Papovaviridae</i> (Shape papilloma)</p>		<p>d DNA</p> <div>   </div> <p><i>Poxviridae</i> (Vaccinia)</p> <p><i>Herpesviridae</i> (Herpes simplex)</p>	
<p>d RNA</p> <div>  </div> <p><i>Reoviridae</i> (Reo type 1)</p>		<p>e RNA</p> <div>     </div> <p><i>Paramyxoviridae</i> (Measles)</p> <p><i>Orthomyxoviridae</i> (Influenza)</p> <p><i>Rhabdoviridae</i> (Vesicular stomatitis)</p> <p><i>Retroviridae</i> (Rous sarcoma)</p>	
<p>e RNA</p> <div>   </div> <p><i>Caliciviridae</i> (Vesicular exanthema of swine)</p> <p><i>Picornaviridae</i> (<i>Stomoxys plicatus</i>)</p>	<p>e DNA</p> <div>  </div> <p><i>Parvoviridae</i> (Ectham virus)</p>	<div>     </div> <p><i>Arnaviridae</i> (<i>Lymphocryptus chlamydophilus</i>)</p> <p><i>Coronaviridae</i> (Avian infectious bronchitis)</p> <p><i>Bunyaviridae</i> (Bunyavirus)</p> <p><i>Togaviridae</i> (Togavirus)</p>	

جدول ١٥-٣ : قائمة العائلات ومجموعات الفيروسات وخواصها الأساسية والعوائل التي تصيبها

العائل Kind of host	العائلة أو المجموعة Families or groups	الخواص الأساسية Characterization
أولاً :		
Vertebrates (فقاريات)	Pox viridae بوكسيريدي	فيروسات مغلفة (ذات غلاف) تحتوى على حامض نووي ريبوزي نيوكلييك مزدوج السلسلة ds DNA enveloped viruses
Invertebrates (لافقاريات)	Herpes viridae هرپسيريدي	
Vertebrates (فقاريات)	Baculoviridae باسيلوفيريدي	
Invertebrate (لافقاريات)	Plasmoviridae بلازموفيريدي	
Bacteria بكتيريا		
ثانياً :		
Vertebrates (فقاريات ولا لفقاريات)	Iridoviridae ايريدوفيريدي	فيروسات معراة (بدون غلاف) تحتوى على حامض نووي ريبوزي نيوكلييك مزدوج السلسلة ds DNA, nonenveloped viruses
Vertebrates (فقاريات)	Adenoviridae ادينوفيريدي	
.. (فقاريات)	Papovaviridae بابوفافيريدي	
Plants نباتات	Caulimovirus كاليموفيروس	
Bacteria بكتيريا	Tectiviridae تكتيفيريدي	فاج بدون غلاف
Bacteria بكتيريا	Corticoviridae كورتيكوفيريدي	
Bacteria بكتيريا	Myoviridae ميوفيريدي	فاج ذو غلاف
Bacteria بكتيريا	Styloviridae ستيلوفيريدي	
Bacteria بكتيريا	Podoviridae بودوفيريدي	
ثالثاً :		
Vertebrates (فقاريات ولا لفقاريات)	Parvoviridae بارفوفيريدي	فيروسات معراة (بدون غلاف) تحتوى على حامض نووي ريبوزي مفرد السلسلة . ss DNA, nonenveloped viruses
.. (نباتات)	Germinivirus جرمينيفيروس	
.. (بكتيريا)	Microviridae ميكروفيريدي	
.. (بكتيريا)	Inoviridae اينوفيريدي	

✶ تحتوي بعض الفيروسات التابعة لـ .. ايريدوفيريدي على غلاف خارجي ناتج عن الغشائية الخلوية للعائل .

تابع جدول ١٥-٣ : قائمة العائلات ومجموعات الفيروسات
وخواصها الأساسية والعوائل التي تصيبها

الخواص الأساسية	العائلة أو المجموعة	العائل
<u>رابعاً :</u> فيروسات مغلفة تحتوي على حامض ريبيونوكليك مزدوج السلطة ds RNA, enveloped viruses	سيستوفيريدي Cystoviridae	بكتيريا
<u>خامساً :</u> فيروسات معراء تحتوي على حامض ريبيونوكليك مزدوج السلطة ds RNA non enveloped viruses	(١) ريوفيريدي Reoviridae (٢) عائلة ممكنة (Possible family) تصيب الفطريات وتحتاج إلى قطعة واحدة من الحمض النووي ريبيونوكلي كليك للتضاعف . (٣) عائلة ممكنة تصيب الفطريات وتحتاج لقطعتين من الحمض النووي ريبيونوكليك للتضاعف . (٤) عائلة ممكنة : تصيب الفطريات وتحتاج إلى ثلاث قطع من الحمض النووي ريبيونوكليك للتضاعف . (٥) عائلة ممكنة تصيب الفطريات واللافقاريات وبها لقطعتين حمض ريبيونوكليك مزدوج السلطة .	الفقاريات واللافقاريات فطريات فطريات فطريات الفقاريات واللافقاريات
<u>سادساً :</u> فيروسات مغلفة تحتوي على حامض ريبيونوكليك مفرد السلطة : ١ - بدون خطوة تكوين DNA كمرحلة وسطية في التضاعف (التضاعف يتم عن RNA مباشرة) ٢ - المادة الوراثية هي السلطة الموجبة Positive sense genome ٣ - المادة الوراثية للفيروس هي السلطة السالبة Negative sense genome	(١) توجافيريدي Togaviridae (٢) كورونافيريدي Coronaviridae باراميكسوفيريدي Paramyxoviridae آرثوميكسوفيريدي Orthomyxoviridae	الفقاريات واللافقاريات الفقاريات الفقاريات الفقاريات

تابع جدول ١٥-٣ : قائمة العائلات ومجموعات الفيروسات وخواصها الأساسية والعوائل التي تصيبها

الخواص الأساسية	العائلة أو المجموعة	العائل
٢ - غير محددة بعد not established	(٢) رابدوفيريدي Rabdoviridae	لقاريات ولا لقاريات ونباتات
	(٤) بونيفيريدي Bunyaviridae	لقاريات ولا لقاريات
	(٥) أرينافيريدي Arenaviridae	لقاريات
	(٦) عائلة ممكنة - فيروسات تتبع الطماطم	نباتات
	(١) رتروفيريدي Retroviridae	لقاريات
ب - فيروسات يتكون بها DNA كخطوة وسطية لتكوين RNA أثناء التضاعف .		
<u>صاحبها :</u>		
فيروسات معزاة تحتوي على حامض ريبيونيكلييك وحيد السلسلة ss-RNA, noneveloped viruses		
١ - المادة الوراثية قطعة واحدة Monopartite genome		
١ - فيروسات متماثلة المحاور Isometric	بيكورنافيريدي Picornaviridae	لقاريات ولا لقاريات
	كاليسيفيريدي Caliciviridae	لقاريات
	نودوريليايفيتا Nudaurelia β virus	لا لقاريات
	ليفيفيريدي Leviviridae	بكتيريا
	مجموعة فيروسات التكزم الشاحب في الذرة Maize chlorotic dwarf virus group	نباتات
	فيروس تايمو Tymovirus	نباتات
	فيروس لوتو Luteovirus	نباتات
	فيروس تومبوس Tombusvirus	نباتات
	فيروس سوبيمو Sobemovirus	نباتات
	مجموعة فيروس تنخر الدخان Tobacco Necrosis virus group	نباتات
٢ - فيروسات عصوية	فيروس كلوستروف Closterovirus	نباتات
	فيروس كارلا Carlavirus	نباتات
	فيروس بوتني Potyvirus	نباتات

تابع جدول ١٥-٣ : قائمة العائلات ومجموعات الفيروسات
وخواصها الأساسية والعوائل التي تصيبها

الخواص الأساسية	العائلة أو المجموعة	العائل
	فيروس بوتكس Potexvirus فيروس توبامو Tobamovirus	نباتات نباتات
ب - المادة الوراثية قطعتين Bipartite genome		
١ - فيروسات متماثلة المحاور Isometric particles	فيروس دايثو Dianthovirus نباتات فيروس كومو Comovirus نباتات فيروس نيمو Nepovirus نباتات مجموعة فيروسات تبرقش البقلة Pea enation mosaic virus group نباتات نودافيريدي Nodaviridae نباتات مجموعة ممكنة possible group تسبب نباتات التبقع اللطيف في الدخان Velvet tobacco mottle virus group نباتات Tobravirus	نباتات نباتات نباتات نباتات نباتات نباتات نباتات نباتات نباتات نباتات
٢ - فيروسات ذات شكل عصوي Rod-shaped viruses		
ج - المادة الوراثية ثلاث قطع Tripartite genome		
١ - فيروسات متماثلة المحاور Isometric	فيروس كيركومو Cucumovirus نباتات فيروس برومو Bromovirus نباتات فيروس إيار Ilarvirus نباتات فيروس تبرقش البرسيم الحجازي Alfalfa mosaic virus group نباتات	نباتات نباتات نباتات نباتات نباتات
٢ - فيروسات عصوية Rod-shaped viruses	Hordeivirus نباتات	نباتات

يلاحظ من الجدول أن أسماء العائلات تنتهي دائما بالمقطع
فريدي Viridae، أما أسماء المجموعة فتنتهي بالمقطع فيروس virus
وذلك في التسمية الدولية . ولكثير من هذه العائلات والمجموعات أسماء
انجليزية مرادفة شائعة ، فعائلة كالي سيفريدي (وهذا هو اسمها
الدولي) تعرف في الانجليزية بعائلة Calicivirus family .

وقد قامت اللجنة الدولية لتقسيم الفيروسات ICTV بتقسيم
هذه العائلات التي تحت عائلات sub-families وينتهي اسم تحت
العائلة بالمقطع فيريني virinae . ثم قسمت كل تحت عائلة إلى
أجناس genera ثم حدد اسم النوع المميز لهذا الجنس Type
species سواء وجدت أفراد تابعة لنفس الجنس أم لا . وقد وضعت
العائلات وتحت العائلات والأجناس ممثلة بالنوع الممثل وصفا دقيقا
ليكون مرجعا للعاملين في مجال علم الفيروسات ، وعلى سبيل المثال
نوضح تقسيم عائلة بوكس فريدي Poxviridae :

عائلة بوكس فريدي (الجدري) Family Poxviridae

تحت عائلة : فيروسات جدري الفقاريات sub-family: Chodopoxvirinae

جنس ١ : فيروسات الجدري العادية Genus 1. Orthopoxvirus

النوع الممثل : فيروس الفاكسينيا Type species: Vaccinia virus

ويوجد سبعة أفراد أخرى في نفس الجنس .

جنس ٢ : شبيهة فيروسات الجدري Genus 2. Parapoxvirus

النوع الممثل : فيروس الأورف Type species: Orf virus

ويوجد ثلاثة أفراد في نفس الجنس .

جنس ٣ : مجموعة فيروسات جدري الطيور Genus 3. Avipoxvirus

النوع الممثل : فيروس جدري الدجاج Type species: Fowlpoxvirus

ويوجد سبعة أفراد أخرى في نفس الجنس .

جنس ٤ : مجموعة فيروسات جدري الضأن Genus 4. Capripoxvirus

النوع الممثل : فيروس جدري الأغنام Type species: Sheep Poxvirus

ويوجد فردين آخرين في نفس الجنس .

جنس ٥ : مجموعة فيروسات جدري الحيوانات البرية الصغيرة .

Genus 5. Leporipoxvirus.

النوع الممثل : فيروس ميكسوما (جدري الأرانب) Myxoma virus
Type species:

Genus 6. Suipoxvirus

جنس ٦ : مجموعة فيروسات الخنازير

Type species: Suinepoxvirus

النوع الممثل : فيروس جدري الخنزير

ولا يوجد أفراد أخرى معروفة تابعة لهذا الجنس.

تحت عائلة : فيروسات جدري الحشرات :

: Sub-family Entomopoxvirinae

وهكذا تقسم تحت عائلة فيروسات جدري الحشرات الى أجناس ... وهكذا ...

ويجب الإشارة الى أنه ورد ذكر عائلات ممكنة في أماكن محددة من الجدول (١٥-٣) لتوضيح أنه لم تتم تسمية عائلة فيروسية في ذلك الموقع . وأنه قد توفرت معلومات تقسيمية تشير الى امكانية انشاء عائلات في تلك المواقع من الجدول المذكور .

ثانياً : تسمية الفيروسات

لقد حاول الكثير من الباحثين ايجاد نظام لتسمية الفيروسات لتسهيل دراستها . الا أن قلة المعلومات المتوفرة عن الفيروسات كانت دائما العقبة التي تحول دون ذلك . وقد بدأت تلك المحاولات منذ الأيام الأولى لاكتشاف الفيروسات ، فكانت تسمية الفيروسات تتبع العائل المصاب ، مع ذكر نوع الإصابة . ففي حالة إصابة نبات الدخان بفيروس يذكرا اسم الفيروس كالتالي : فيروس موزايك (تبرقش) الدخان Tobacco mosaic virus ، وبالمثل مع الطماطم مثل فيروس التبقع الحلقي فسوى الطماطم Tomato ringspot virus وفيروس اصفرار بنجر السكر Sugar beet yellow virus .

وكان جونسون عام ١٩٢٧ أول من قام بمحاولة تسمية الفيروسات

بالنسبة لأول عائل يكشف عليه الفيروس أو بالنسبة لأهم عائل يصيبه ويعطى الفيروس رقما مسلسلا حتى تأخذ الأمراض الفيروسية التي تكتشف في المستقبل على نفس العائل باقى الأرقام المسلسلة ... فمثلا موزاييك الفاصوليا أطلق عليه Bean virus 1 وهكذا ... وقد عدل هذا النظام بأن وضع بعد تلك الأرقام حروف هجائية لسلاسل الفيروس الواحد. وقد ثبت صعوبة هذا النظام بعد اكتشاف كثير من الفيروسات على العائل الواحد مما يجعل من الصعب ربط الفيروسات بالأرقام وتذكرها ، كما أن هذه الطريقة في التسمية لم تعطى أى فكرة عن تأثير الفيروس على العائل ... كما أنه في بعض الحالات تكون هذه الطريقة في التسمية غير مجدية ... إذ أن فيروسين مختلفين يسببان أعراضا متشابهة على نفس العائل قد يأخذان أرقاما متباعدة تبعاً لاكتشاف أحدهما أولا ثم اكتشاف أمراض فيروسية أخرى على نفس العائل ، ثم اكتشاف الفيروس الثانى . وبذلك لا نجد أى ارتباط بين هذين الفيروسين ولو أنهم متشابهان بالنسبة للأمراض التي تحدثها في العائل .

وقد نشر سميث Smith عام ١٩٣٧ م في إنجلترا كتابا استخدم فيه طريقة جونسون Johnson في التسمية ... إلا أنه استخدم الاسم اللاتينى للجنس في التسمية يتبعه رقم الفيروس مثل Prunus virus 2, Nicotiana virus 1 ... وهكذا بدلا من الاسم العام كما استخدمه جونسون .

وقد قام هولمز Holmes عام ١٩٣٩ بتسمية فيروسات النباتات بالطريقة المتبعة في تسمية الكائنات الراقية ، وفي عام ١٩٤٨ م استخدم نفس الطريقة لتسمية فيروسات الحيوان . واقترح تكوين مملكة الفيروسات ... وتنقسم الى قسمين هما :

فيروسات النبات phytophagi ، وفيروسات الحيوان Zoophagi وكل منهما ينقسم الى صفوف وعائلات وأجناس ، وكل فيروس له اسم لاتينى مكون من الجنس والصنف . وكان أساس هذا التقسيم هو الأعراض التي تظهر على العائل ، فمثلا وضعت جميع الفيروسات التي تسبب التبرقش (الموزايك) تحت عائلة واحدة أطلق عليها الموزايك Marmoraceae ، والفيروسات

التي تسبب بقع (نقط) حلقيه Ringspots تحت عائلة واحدة Annul-
aceae ... وهكذا فيسمى فيروس تبرقش الدخان Tobacco Mosaic Virus
باسم Marmor tabaci وسمى فيروس قصب السكر Sugar-cane mos-
aic virus باسم Marmor sacchari وهكذا ...

وحيث أن هذا التصنيف يعتمد اعتمادا كليا على الأعراض التي
تسببها الفيروسات وحيث أن أعراض الأمراض الفيروسية تتأثر بالضوء
والحرارة والعائل الذي يصيبه الفيروس ، فإن هذه الطريقة في التقسيم
يعاب عليها امكانية نقل بعض الفيروسات من عائلة لأخرى لاختلاف
الأعراض تحت الظروف البيئية المختلفة .

وأحدث طريقة لتسمية الفيروسات هي الطريقة التي اقترحها
جيبس Gibbs عام ١٩٦٦ ، والتعديلات التي أدخلت عليها فيما
بعد حتى عام ١٩٧٣ . فقد اقترح جيبس عام ١٩٦٦ ، وعام ١٩٧٣
نظاما لتسمية وتصنيف الفيروسات يعتمد على الأسس التي اتبعها
أدانسون Adanson عام ١٧٦٣م في تصنيف النباتات والتي بموجبها
تصنف الكائنات الى مجاميع تتشابه فيها أفراد كل مجموعة بأكثر عدد ممكن
من الخصائص مع بعضها البعض بدون تفضيل أية خاصية على أخرى .

وعلى هذا الأساس فإن تصنيف الفيروسات يعتمد كليا على ما
يتوفر من المعلومات عن خصائص الفيروسات المسماة وسلالاتها ، وكلما
كانت هذه المعلومات أوسع كلما كان التصنيف أدق وأنفع .

وقد اتفق معظم الباحثين في مجال علم الفيروسات على نوعين
من التقسيمات التصنيفية وهي أن :

- (١) السلالات الفيروسية : وهي العزلات التي تختلف بأقل عدد من
الخصائص
- (٢) المجموعة الفيروسية : وهي الفيروسات التي تتشابه بأكثر عدد
من الخصائص

ويعطى لكل مجموعة اسم ثابت يسهل التخاطب والتعامل به بين الباحثين في علوم الفيروسات . ويكون هذا التصنيف متناظر مع النسخ (species) والجنس (Genus) في التصنيف المتبع في الكائنات الراقية . وبموجب النظام الذي اقترحه Gibbs وطوره آخرون يعطى للفيروس الاسم الانجليزي الشائع متبوعاً بمجموعة من الرموز التي تعتبر بمثابة شفرة ، ويسمى بالكريتوجرام Cryptogram الذي يعبر عن أهم خصائص الفيروس ، وتتكون من أربعة أزواج من الرموز مرتبة حسب نظام ثابت .

وكمثال لأحد الفيروسات النباتية نجد أن الكريتوجرام لفيروس موزايك الدخان (TMV) Tobacco mosaic virus كما يلي :

$$TMV = \frac{R}{I} : \frac{Z}{S} : \frac{E}{E} : \frac{S}{D}$$

$$\frac{\text{نوع الحمض النووي}}{\text{طبيعة الحمض النووي}} = \frac{R}{I} = \underline{\text{الزوج الأول}}$$

نوع الحمض النووي : DNA = D , RNA = R

وطبيعة الحمض النووي : ١ = أحادي السلسلة .

٢ = ثنائي السلسلة .

الزوج الثاني = $\frac{2}{5}$ = الوزن الجزيئي للحمض النووي (بالمليون دالتون)
النسبة المئوية للحمض النووي في جسيم الفيروس الفعال

الزوج الثالث = $\frac{E}{E}$ = شكل جسيمة الفيروس
شكل النيوكليوكابسيد

الرموز المستعملة لكلا الصفتين :

S= Essentially spherical

كروية بصفة أساسية

E= Elongated with parallel sides, ends not rounded

متطاولة ومتوازية الجوانب ولكن نهاياتها غير مستديرة .

U= Elongated with parallel sides, ends (S) rounded

متطاولة ومتوازية الجوانب ولكن نهايتها أو نهاياتها مستديرة

X= Complex

معقد الشكل

أو لا ينطبق عليه ما سبق وصفه . or non of the above

$$\frac{\text{نوع العائل}}{\text{نوع الناقل}} = \frac{S}{U} \text{ : الزوج الرابع}$$

الرموز المستعملة لأنواع العوائل :

A= Algae

طحالب (أشنات)

I= Invertebrate

لافقریات

P= Pteridophyte

السرخسيات

V= Vertebrate

فقریات

B= Bacteria

بكتيريا

F= Fungus

فطر

M= Mycoplasma

ميكوبلازما

S= Seed plant

نبات بذري

الرموز المستعملة لأنواع الناقلات :

Ac=(Acarina), Acachnida(mite & tick) العنكبوت والقراد

Al= Aleyrodidae (White fly)

حشرة الذباب الأبيض

AP= Aphidade (Aphid)

حشرة المن

Au= Auchenorrhyncha (Leaf, plant or tree-hopper)

حشرة النطاط (القفاز)

Cc= Coccidae (Mealy-bug)	البق الدقيقى
Cl= Coleoptera (beetle)	الخنافس
Di= Diptera (Fly and Mosquito)	الذباب والبعوض
Fu = Fungi	فطريات
Ne= Nematoda (Nematode)	الديدان الثعبانية
Ps= Psyllidae (Psylla)	بسيلا
Si= Siphonoptera (Flea)	البرغوث
Th= Thysanoptera (Thrips)	التريس
Ve=	الناقل معروف ولكنه غير مذكور
O=	ينتشر بدون ناقل ، عن طريق البيئة الملوثة

وفيما يلى بعض الرموز التى تستعمل فى أى من الأزواج المذكورة

=	خاصية الفيروس غير معروفة
() =	المعلومات المحصورة بين القوسين مشكوك فيها أو غير مؤكدة .
[] =	مجموعة الرموز المحصورة بين القوسين تبين معلومات عن مجموعة فيروسية وليس فيروس واحد .

وقد شكلت اللجنة الدولية لتسمية الفيروسات فى عام ١٩٦٦
International Committee on Nomenclature of viruses (ICNV)

لجنة فرعية لفيروسات النبات لوضع نظام لتصنيف فيروسات النبات . وقامت اللجنة المذكورة باعداد دراسة خلال الأعوام ١٩٦٦ - ١٩٧٠ م . وفى عام ١٩٧١ م اشترك معظم أعضاء اللجنة فى نشر نتائج دراستها التى تضمنت تصنيف الفيروسات الى مجاميع على أساس تشابه أفراد كل مجموعة لمعدة خصائص تبلغ حوالى ٥٠ صفة مثبتة مسبقا مثل : تصرف الفيروس داخل العائل النباتى ، علاقة الفيروس بالكائنات الأخرى الناقلة ، خصائص جسيمة الفيروس ، التركيب الكيماوى لجسيمة الفيروس .

وعرفت " المجموعة الفيروسية " بأنها مجموعة فيروسات أو سلالاتها التى كلا منها يشترك مع الفيروس الذى يمثل المجموعة بكل أو معظم

الخصائص التي تتميز بها تلك المجموعة . وقد تم اشتقاق اسم المجموعة من مختصرات الاسم الشائع للفيروس الممثل لتلك المجموعة ، ووضعت لها رموز الكريبتوجرام Cryptogram للفيروس الممثل للمجموعة ، وبلغ عدد المجاميع الفيروسية التي ذكرت (١٦) مجموعة كما في الجدول (١٥-٤)

جدول ١٥-٤ : مجاميع فيروسات النبات والفيروس الممثل لكل مجموعة والكريبتوجرام الخاص به

No.	اسم المجموعة الفيروسية	الفيروس الممثل للمجموعة	الكريبتوجرام للفيروس الممثل للمجموعة
1	Tobravirus Group	Tobacco rattle virus	$\frac{R}{I} : (\frac{2.3}{5} + \frac{0.9}{5}) : \frac{E}{E} : \frac{S}{Ne}$
2.	Tobamovirus Group	Tobacco Mosaic virus	$\frac{R}{I} : \frac{2}{5} : \frac{E}{E} : \frac{S}{O}$
3.	Potexvirus Group	Potato virus X	$\frac{R}{I} : \frac{2.1}{6} : \frac{E}{E} : \frac{S}{Fu, O}$
4.	Carlavirus Group	Carnation Latent virus	$\frac{R}{I} : \frac{*}{6} : \frac{E}{E} : \frac{S}{Ap}$
5	Potyvirus Group	Potato Virus Y	$\frac{*}{E} : \frac{*}{E} : \frac{E}{E} : \frac{S}{Ap}$
6.	Cucumovirus Group	Cucumber Mosaic Virus	$\frac{R}{I} : \frac{1}{18} : \frac{S}{5} : \frac{S}{Ap}$
7.	Tymovirus Group	Turnip yellow Mosaic Virus	$\frac{R}{I} : \frac{1.9}{34} : \frac{S}{5} : \frac{S}{Cl}$
8.	Comovirus Group	Cowpea Mosaic Virus	$\frac{R}{I} : \frac{1.5}{24} : \frac{2.6}{33} : \frac{S}{S, Cl}$
9.	Nepovirus Group	Tobacco ringspot virus	$\frac{R}{I} : \frac{2.2}{40} : \frac{S}{5} : \frac{S}{Ne}$
10.	Bromovirus Group	Brome Mosaic Virus	$\frac{R}{I} : \frac{1}{22} : \frac{S}{5} : \frac{S}{(Ne)}$
11.	Tombusvirus Group	Tomato bushy stunt virus	$\frac{R}{I} : \frac{1.5}{17} : \frac{S}{5} : \frac{S}{*}$
1.	Caulimovirus Group	Cauliflower Mosaic Virus	$\frac{D}{2} : \frac{4.5}{16} : \frac{S}{5} : \frac{S}{Ap}$
13*	Alfalfa Mosaic Virus	Alfalfa Mosaic Virus	$\frac{R}{I} : (\frac{1.3}{18} + \frac{1.1}{18} + \frac{0.9}{18} + \frac{0.3}{18}) : \frac{U}{U} : \frac{S}{Ap}$
14.	Pea Enation Mosaic Virus	Pea enation mosaic virus	$\frac{R}{I} : \frac{*}{29} : \frac{S}{5} : \frac{S}{Ap}$
15.	Tobacco Necrosis Virus	Tobacco Necrosis Virus	$\frac{R}{I} : \frac{1.5}{19} : \frac{S}{5} : \frac{S}{Fu}$
16.	Tomato spotted wilt Virus	Tomato spotted wilt virus	$\frac{R}{I} : \frac{*}{E} : \frac{S}{5} : \frac{S}{Th}$

ويلاحظ أن أحد نقاط الضعف في هذا النظام هو عدم توفر المعلومات الكافية التي يتطلبها الكريبتوجرام للعديد من الفيروسات، وكذلك عدم شمول العلاقات المصلية بين الفيروسات ضمن الخصائص المثبتة. ولكن بالرغم من بعض نقاط الضعف الموجودة بنظام تصنيف وتسمية مجاميع الفيروسات المذكورة سابقا فإنه أول عمل مرض لغالبية الباحثين.

ومن المتوقع أن يتطور بخطوات لاحقة كلما توفرت معلومات أكثر عن فيروسات النبات.

وكمثال لأحد الفيروسات الحيوانية فإن الكريبتوجرام لفيروس اللسان الأزرق كما يلي :

$$\text{Blue Tongue virus} = \frac{R}{2} : \frac{12}{*} : \frac{S}{S} \quad \frac{I, V}{Ve/Ac, Di}$$

ووفقا لما سبق شرحه ، فإن هذا الكريبتوجرام يعنى أن فيروس اللسان الأزرق يحتوى على الحمض النووى رن أ مزدوج السلسلة (ds RNA) وأن الحمض النووى مجزأ الى اثنى عشر قطعة ووزنه الجزيئى ١٢ مليون دالتون ، والنسبة المئوية للحمض النووى فى جسيمة الفيروس الفعال غير معروفة ، وأن شكل كلا من جسيمة الفيروس والنيوكليو كابسيد كروى S وأن نوع العائل فقاريات (V) ولا فقاريات (I) وأن نوع الناقل تتم بواسطة العنكبوت والقراد (AC) وكذلك بواسطة الحشرات التابعة لـ (Di) مثل الذباب والبعوض ، كما أنه يوجد وسائل نقل أخرى معروفة ، ولكن غير مذكورة (Ve) ...

هذا ... وقد شكلت اللجنة الدولية لتسمية الفيروسات (ICNV) فى عام ١٩٦٦ لجنة فرعية لفيروسات الحيوان أيضا لوضع نظام لتصنيف فيروسات الحيوان .

وقد قامت اللجنة المذكورة بتقسيم فيروسات الحيوان الى ثمانية عشرة مجموعة كما هى موضحة فى الجدول (١٥-٥) ...

**جدول ١٥-٥ : عائلات فيروسات الحيوان والفيروس
الممثل لكل مجموعة مع الكريتيوجرام الخاص به .**

اسم العائلة الفيروسية	الفيروس الممثل للعائلة	الكريتيوجرام للفيروس الممثل للمجموعة
1. Parvoviridae	Parvovirus	$\frac{D}{I} : \frac{1.5-1.8}{26} : \frac{S}{5} : \frac{V}{C,I,O}$
2. Papovaviridae	Papilloma virus	$\frac{D}{Z} : \frac{S}{12} : \frac{S}{5} : \frac{V}{O, Ve/Ac, Si}$
	Polyoma virus	$\frac{D}{Z} : \frac{3}{12} : \frac{S}{5} : \frac{V}{O}$
3. Adenoviridae	Maskadenovirus	$\frac{D}{Z} : \frac{20-25}{12-14} : \frac{S}{5} : \frac{V}{I.O.R}$
	Aviadenovirus	$\frac{D}{Z} : \frac{30}{17} : \frac{S}{5} : \frac{V}{I,R}$
4. Herpesviridae	Alpha, Beta, Gamma herpesviruses	$\frac{D}{Z} : \frac{92-102}{8.5} : \frac{Se}{5} : \frac{(F)(I)V}{C,O,R}$
5. Iridoviridae	Iridovirus	$\frac{D}{Z} : \frac{130}{15-20} : \frac{S}{5} : \frac{I}{I}$
6. Poxviridae	Orthopoxvirus	$\frac{D}{Z} : \frac{150}{5} : \frac{X}{5} : \frac{V}{O,R}$
	Avipoxvirus	$\frac{D}{Z} : \frac{200}{5} : \frac{X}{5} : \frac{V}{O,R, Ve/Ac, Di, Si}$
II RNA Viruses		
7. Picornaviridae	Enterovirus	$\frac{R}{I} : \frac{2.5}{30} : \frac{S}{5} : \frac{I,V}{I,O,R}$
8. Caliciviridae	Calicivirus	$\frac{R}{I} : \frac{2.6-2.7}{18-22} : \frac{S}{5} : \frac{V}{I,R}$
9. Togaviridae	Rubivirus	$\frac{R}{I} : \frac{3.5}{5} : \frac{Se}{5} : \frac{V}{C,R}$
10. Reoviridae	Reovirus	$\frac{R}{Z} : \frac{214-215}{15} : \frac{S}{5} : \frac{V}{I,O}$
11. Arenaviridae	Arenavirus	$\frac{R}{I} : \frac{23.2-25.6}{5} : \frac{Se}{5} : \frac{V}{C,O}$
12. Coronaviridae	Coronavirus	$\frac{R}{I} : \frac{9}{5} : \frac{Se}{5} : \frac{V}{I,R}$

تابع جدول ١٥-٥ : عائلات فيروسات الحيوان والفيروس
الممثل لكل مجموعة مع الكرتوجرام الخاص به .

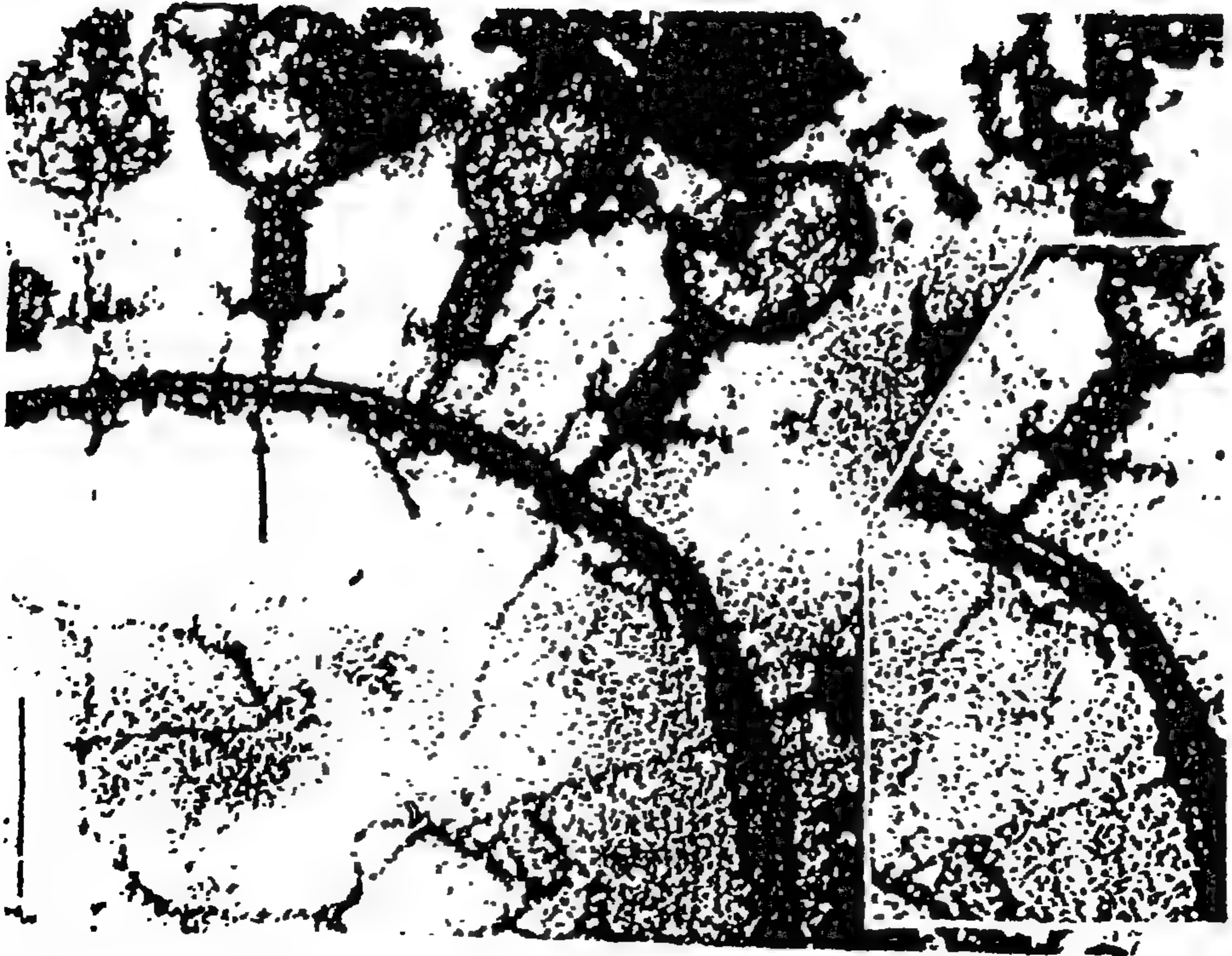
اسم العائلة الفيروسية	الفيروس الممثل للعائلة	الكرتوجرام للفيروس الممثل للمجموعة
13. Bunyaviridae	Bunyavirus	$\frac{R}{I} : \frac{\Sigma 6}{I} : \frac{Se}{E} : \frac{V}{C, Ve/Ac, Di}$
14. Orthomyxoviridae	Influenzavirus	$\frac{R}{I} : \frac{\Sigma 4}{I} : \frac{Se}{E} : \frac{V}{R}$
15. Paramyxoviridae	Paramyxovirus	$\frac{R}{I} : \frac{5-8}{I} : \frac{Se}{E} : \frac{V}{O, R}$
16. Rhabdoviridae	Lassa virus	$\frac{R}{I} : \frac{4.6}{I} : \frac{Ue}{E} : \frac{I, V}{O, Ve/Di}$
17. Retroviridae	Oncovirus, Type C Type B	$\frac{R}{I} : \frac{7}{2} : \frac{Se}{I} : \frac{V}{C, O}$ $\frac{R}{I} : \frac{10-12}{0.8} : \frac{Se}{I} : \frac{V}{C, I}$
18. Unclassified viruses	Borna diseases Scrapie disease Brusai disease	Unknown " "

البَابُ السَّادِسُ

الفَيروسَاتُ البَكْتِيرِيَّةُ (الفَج)

الفصل السادس عشر : الفَيروسَاتُ البَكْتِيرِيَّةُ الضَّارِيَّةُ

الفصل السابع عشر : الفَيروسَاتُ البَكْتِيرِيَّةُ الْمُعْتَدِلَةُ



الفصل السادس عشر

الفيروسات البكتيرية الضارية

Virulent Bacterial Viruses

ان معظم ما نعرفه اليوم عن الفيروسات بصفة عامة جاء نتيجة دراسة الفيروسات البكتيرية والتي اكتشفت لأول مرة بواسطة كلا من العالم الانجليزى تورت F.W. Twort عام ١٩١٥م والعالم الكندى ديريل F.d'Herrelle فى عام ١٩١٧م ، وكلاهما كان يعمل مستقلا عن الآخر ... وقد اكتشف هذان العالمان أن البكتيريا (والكثير منها) يسبب أمراضا للانسان والحيوان والنبات) قد تضار نتيجة لمرض مسبب عن فيروس قابل للتربيع خلال المرشحات البكتيرية . فقد وجد ديريل أنه عند اضافة قطعة صغيرة من براز شخص مريض بمرض الدوسنتاريا الى مرق اللحم ... ثم امرار هذا السائل خلال مرشح بكتيرى للتخلص من البكتيريا ، فان الراشح الرائق الخالى من أى خلايا بكتيرية منظورة كان يحتوى على عامل معين مجهول ذو قدرة واضحة على اذابة (تحلل) بكتيريا الدوسنتاريا . فعند اضافة مقدار ضئيل جدا من هذا الراشح الرائق الى مزرعة سائلة حديثة من بكتيريا الدوسنتاريا شديدة التعكير ، يؤدي الى اختفاء العكارة (وبالتالي اختفاء خلايا البكتيريا) فى خلال ساعات قليلة ، وسميت هذه الظاهرة باسم " ظاهرة تورت - ديريل " Twort-d'Herrelle phenomenon . ولوحظ أيضا انه اذا لامس هذا الراشح الرائق المحتوى على العامل المعين المجهول لطبقة مستمرة من بكتيريا الدوسنتاريا النامية على مستنبتات صلبة ، فانه تتكون بقع شفافة خالية من البكتيريا (تسمى بلاك plaque) وجمعها بلاكات (Plaques) مما يدل على اختفاء البكتيريا منها ، وقد اعتقد ديريل أن هذا العامل المجهول هو عبارة عن كائن حى أصغر من أن يرى بالمجهر وسماه آكل البكتيريا المعوية Bacteriophagium intestinale . ثم عرف بعد ذلك أن هناك عوامل تلتهم أنواع أخرى من البكتيريا ، فاستخدم اللفظ بكتيريوفاج Bacteriophage أى آكل البكتيريا ، ثم اختصرت بعد ذلك للتسهيل ، فسميت الفيروسات البكتيرية باسم فاج Phage ، ويمكن

عد الفاج فى أى تخفيف فيه بعد دالبلاكات (البقع) التى يكونها حجم معين من هذا التخفيف على سطح طبقة مستمرة من البكتيريا. والفاجات phages واسعة الانتشار فى الطبيعة ، فكل أنواع البكتيريا التى بحثت حتى الآن وجد أنها تعمل كمائل لنوع أو أكثر من الفاجات. ولكن معظم البحوث أجريت على الفاجات التى تهاجم بكتيريا القولون المعروفة علميا باسم ايشريشيا كولاي *Escherichia coli* وتعرف مثل هذه الفاجات باسم " كولى فاجات " Coliphages . والفاجات لا تختلف اختلافا كبيرا عن الفيروسات الأخرى . والاختلاف الأساسى بينها وبين الفيروسات الأخرى يرجع الى اختلاف العائل . فمن الناحية التركيبية ، فالفاجات مثل غيرها من الفيروسات تتكون أساسا من لب Core من أحد الأحماض النووية سواء دنا DNA أو رنا RNA مغطى بغطاء بروتينى وهو المحفظة ، وقد تحتوى بعض الفاجات علاوة على ذلك على ذيل مخصص لامتزاز Adsorption جزئى الفيروس الى سطح البكتيريا أو لحقن الحمض النووى داخل الخلية البكتيرية .

أهمية دراسة الفاجات :

تعتبر دراسة الفاجات على درجة كبيرة من الأهمية لأنها تمثل نموذجا من الفيروسات يمكن دراسته بسهولة ، وذلك لأن عوائل الفاجات هى البكتيريا ، وهى نوع من الأحياء يسهل تداوله فى المختبرات ، ويمكن تنميته تحت ظروف أكثر تحديدا ودقة من عوائل الفيروسات الأخرى مثل النبات والحيوان — وقد استفيد حديثا من دراسة الفيروسات البكتيرية بابتكار ما يعرف بمزارع الأنسجة Tissue cultures لدراسة كلا من الفيروسات النباتية والحيوانية .

الخواص العامة للفاجات :

تحتوى بعض الفاجات على دنا DNA بينما تحتوى بعضها على رنا RNA كمادة وراثية ، وفى معظم فاجات دنا فان الحمض

النوى يكون مزدوج السلسلة ، ولكن توجد حالات قليلة يكون دن أ مفرد السلسلة . أما معظم فاجات رن أ التي اكتشفت حتى الآن فهي تحتوي في فيروساتها على رن أ مفرد السلسلة .

جميع الفاجات المعروفة — فيما عدا مجموعة واحدة — يكون الحمض النووي للفيروس معبأ داخل غطاء بروتيني ذو الشكل المتعدد الأوجه Icosahedral or polyhedral وفي كثير من هذه الفاجات المتعددة الأوجه يلحق بها ذيل ، والذي يعمل كعضو امتزاز ، والمجموعة المستثناة من الشكل العام للفاجات ، هي الفاجات ذات الشكل الخيطي filamentous أو العصوي Rod-shaped والتي يمثلها الفاج " اف دي " fd وهذا الفاج الأخير عصوي الشكل يحتوي على الحامض النووي دن أ DNA مفرد السلسلة .

وتبدو الفاجات أكثر تخصصا لعوائلها عن الفيروسات الأخرى (النباتية أو الحيوانية) بصفة عامة . فبعض الفيروسات النباتية والحيوانية تصيب أكثر من نوع من العوائل ، أما الفاجات فهي عادة ما تصيب نوع واحد فقط من البكتيريا ، وإن كان من الممكن أن يصيب عدد من الفيروسات نوعا واحدا من البكتيريا . ولكن لم يعرف حتى الآن أي فيروس بكتيري يصيب النبات أو الحيوان ، كما أنه لم يعرف حتى الآن فيروس نباتي أو حيواني يمكن أن يصيب أي بكتيريا .

ويمكن تقسيم الفاجات الى قسمين رئيسيين وهما :

: Virulent phages

١- الفاجات الضارية :

وهي فيروسات بكتيرية محللة lytic phages ، بمعنى أنه بمجرد غزوها للخلايا العائل فانها تبدأ مباشرة في دورة التحلل Lytic cycle ، ومثل هذه الفيروسات البكتيرية لها طورين فقط وهما :

أ- الطور الخارجي extracellular : وهو عبارة عن جسيمات خاملة ليس لها أي نشاط أيضي Metabolism أو قدرة على مضاعفة

نفسها Multiplication خارج خلية العائل In-vitro ،
وتسمى هذه الجسيمات فيريونات .

ب - الطور الداخلى Intracellular phase : وهو عبارة عن
الصورة أو الحالة المتكاثرة Replicative form للفيروس داخل
الخلية البكتيرية ، وتسمى الفاج الخضرى Vegetative phage .

ويتكون الطور الداخلى بعد امتزاز فيريون ما فى مواقع متخصصة
Receptor sites معدة لاستقبال هذا الفيرون على سطح الخلية العائل
، ويتم حقن الحمض النووى nucleic acid الفيروسى داخل خلية
البكتيريا العائل . ويتم تضاعف الفيروسات داخل الخلية العائل فى
مراحل خمس هى :

- ١ - الإصابة Infection وتشمل امتزاز الفيرون على سطح العائل
وحقن الحمض النووى داخلها .
- ٢ - تكوين البروتينات المبكرة Early Proteins .
- ٣ - تضاعف Replication الحمض النووى الفيروسى .
- ٤ - تجميع جزئيات فيروسية جديدة Maturation
- ٥ - تحرر الفيروسات الجديدة Liberation of mature virions

وستناقش هذه الخطوات الخمس تحت عنوان (تضاعف الفاج)
Multiplication of Bacteriophage فيما بعد .

ومن أكثر الفاجات الضارية دراسة ، هى مجموعة كولى فاج تسمى
Coliphage T group والحرف تى يرمز للكلمة الانجليزية Type ومعناها
بالعربية طراز ، وسنستعمل رمزا لها هنا تى للتسهيل ، ومجموعة
كولى فاج تى ينتمى اليها سبعة فيروسات ، وتأخذ الأرقام المسلسلة
تى ١ الى تى ٧ T₁ to T₇ . وفاجات تى ذات الأرقام المزدوجة
على درجة كبيرة من التشابه ، لذلك فقد وضعت فى مجموعة بمفردها
، وسميت فاجات تى ذات الأرقام المزدوجة Even phages . وعندما
تغزو أحد فيروسات تى بكتيريا القولون المعروفة ايشريشيا كولاى E. coli

فانه في نهاية مرحلة تضاعف الفيروسات يتحرر من كل خلية عدد من الفيروسات الجديدة يتراوح بين ١٠٠ الى ٣٠٠ فيروس واحد . والفترة التي تنقضى بين غزو الخلية حتى انفجارها lysis تتراوح بين ١٥ - الى ٤٠ دقيقة .

٢- الفاجات المعتدلة : Temprate phages

ولو أن هذه الفيروسات لها القدرة على تحليل البكتيريا العائل أيضا ، إلا أن لها صفة أخرى تميزها عن المجموعة الأولى من الفيروسات . فالفاجات المعتدلة أحيانا لا تكون الاصابة بها من نوع الاصابة الضارئة المحللة للبكتيريا ، حيث يقع الحمض النووي الفيروسي الذي يحقن داخل الخلية تحت سيطرة الخلية ، ويخضع لنظمها ، وتظل الخلية تعمل بصورة عادية تماما . وجزئى الحمض النووي الخاص بالفيروس الموجود داخل خلية بكتيرية والخاضع لنظمها يسمى الفاج الأولى (البروفاج Prophage) ، ولا يسبب هذا الفاج الأولى اذابة الخلية البكتيرية ، وقد يظل جزئى الحمض النووي الفيروسي المذكور (الفاج الأولى) مستقلا بذاته داخل الخلية البكتيرية مشبها في ذلك أيا من البلازميدات Plasmids الخلوية (البلازميد هي قطعة دن أ DNA غير كروموسومية توجد في سيتوبلازم الخلية البكتيرية وتحمل صفات وراثية معينة مثل تلك البلازميدات المسؤولة عن مقاومة بعض الخلايا لمركبات كيميائية معينة وبعض المضادات الحيوية) . وقد يندمج الفاج الأولى مع كروموسوم الخلية مكونا جزئى حلقى واحد من دن أ DNA مشتملا على كروموسوم الخلية الأصلى + دن أ الخاص بالفيروس ، وفي هذه الحالة الأخيرة فانه عند انفصال سلسلتى الكروموسوم تمهيدا لانقسام الخلية ، فان كل كروموسوم جديد يحتوى على نسخة من الحمض النووي الخاص بالفيروس . وبذلك تكون كل خلية من نسل الخلية الأم تحتوى على نسخة من الحمض النووي الخاص بالفيروس . وعند تحول الفاج الى فاج أولى Prophage فان الخلايا يقال لها أنها دخلت الدورة المولدة للاذابة ، أو الدورة اللايسوجينية Lysogenic cycle .

وهذا فان الفاج الأولي المندمج مع كروموسوم الخلية يسلك سلوك احدى الوحدات الجينية للخلية ، وبذلك فان الفاج المعتدل ليس له القدرة على اكساب الخلية البكتيرية بعض صفات وراثية جديدة أو تبديل بعضها بها من صفات وراثية . وأدى ذلك الى اكتشاف ظاهرتان مهمتان ، احدهما تعرف بنقل الصفات الوراثية عن طريق الفيروسات (النقل بالحمل Transduction) ، والثانية تعرف باسم (التبديل الفاجي Phage conversion) وسيتم مناقشتها فيما بعد ...

وتعرف البكتيريا الحاوية لنسخة من الفاج الأولي Prophage باسم البكتيريا المولدة للاذابة (لايروجينيك Lysogenic bacteria) .

فعند تعرض الخلايا التي تحتوى على الفاج الأولي (البكتيريا ذات القدرة الكامنة على التحلل Lysogenic bacteria) لظروف بيئية معينة ، فان الفاج الأولي لا يلبث أن يأخذ بزمام الأمور في الخلية ويتولى السيطرة على جميع نشاطات الخلية لمضاعفة نفسه وبناء البروتينات الخاصة به متحولا بذلك من فاج أولي Prophage الى فاج خضري Vegetative phage وتحول البكتيريا من الحالة المولدة للاذابة (الدورة اللايسوجينية Lysogenic cycle) الى دورة الاذابة أو التحلل Lytic cycle .

ويسلك بذلك سلوك الفاجات الضارية Lytic phages تماما الى أن تتحرر الفيروسات الجديدة من الخلية التي تذوب أو تتحلل .

وبذلك فان الفاجات المعتدلة قد تكون موجودة في أحـد ثلاث صور هم :

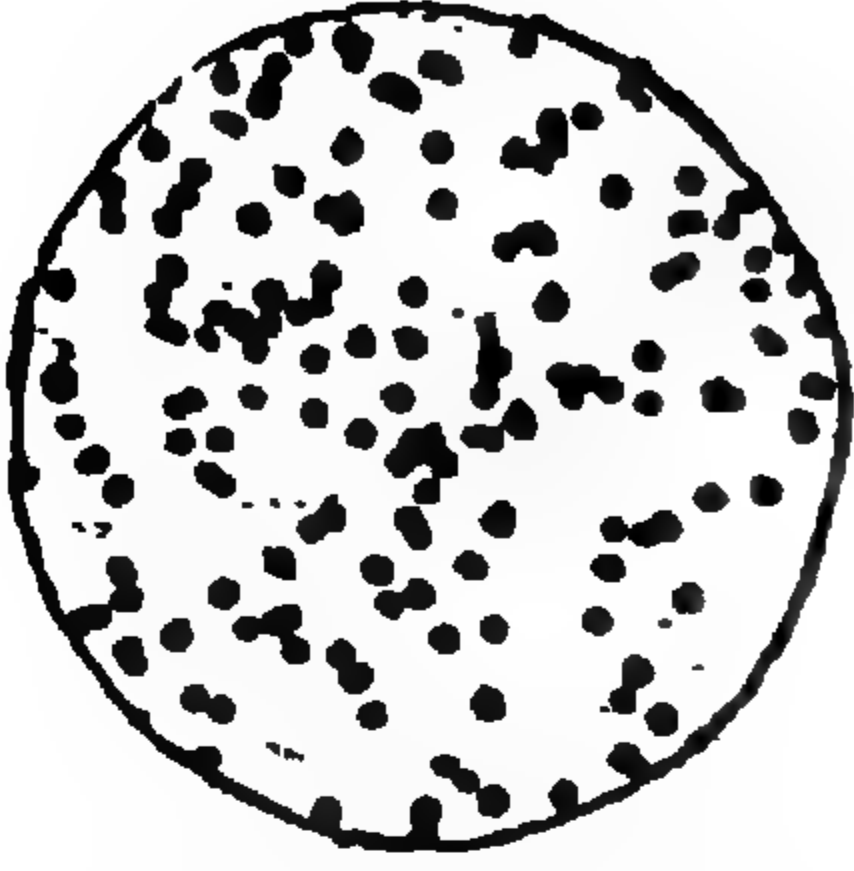
الفاج الأولي (البروفاج) أو الفاج الخضرى أو الفيريون virion
أما الفاجات الضارية فهي لا توجد الا في أحد صورتين هما الفـاـجـا
الخضرى أو الفيريون كما سبق ذكره .

كشف واظهار الفاج :

عند اضافة عدد صغير من أحد جسيمات الفاجات الضارية لمزرعة سائلة تحتوى على البكتيريا الحساسة لهذا الفاج ، فان بعض خلايا المزرعة البكتيرية تصاب بحسيمات الفيروس التى أضيفت ، ولكن لا يلاحظ أى فرق فى المظهر بين الخلايا المصابة والخلايا الغير مصابة لفترة محدودة قد تمتد من (١٥) خمسة عشرة دقيقة الى ساعة كاملة على حسب طبيعة كلا من الفيروس والبكتيريا وظروف المزرعة ... وفجأة وبعض انقضاء هذه الفترة المحددة تنفجر الخلايا المصابة ليخرج منها عدد كبير من جسيمات الفاج الجديدة .

وجسيمات الفاج الجديدة هذه تبدأ غزوا جديدا لخلايا جديدة ، وتكرر نفس الدورة . وبناء على ذلك فانه حتى عند اضافة عدد صغير من جسيمات الفاج الى مزرعة سائلة من بكتيريا حساسة نامية بأعداد كبيرة يؤدى الى فناء كل الخلايا البكتيرية فى خلال ساعات قليلة .

ومن السهل جدا تقدير عدد جسيمات الفاج أو الخلايا المصابة فى معلق ما ، وذلك بعمل التخفيف المناسب من هذا المعلق وتوزيعه على سطح (آجار) مستنبت مغذى صلب فى طبق بتري ملقح بعدد كثيف من البكتيريا الحساسة لهذا الفاج ... وبعد التحضين على الدرجة المناسبة يظهر سطح المستنبت المغذى الصلب مغطى بطبقة من البكتيريا فيما عدا نقط معينة تبتد و شفافه . وهذه النقط أو المناطق الشفافة Clearing zones تسمى بلاك plaque وجمعها بلاكات plaques (شكل ١٦-١) وهى تتكون نتيجة وجود فيروس ، أو خلية مصابة عند هذه النقط . حيث يقوم الفيروس ونسله بتحليل الخلايا عند تلك النقط فتبتد و شفافه أو خالية من الخلايا البكتيرية . ويمكن عند هذه البلاكات plaques لمعرفة عدد جسيمات الفاج فى التخفيف المستعمل مثلها فى ذلك مثل عد مستعمرات البكتيريا على أطباق بتري المحتوية على مستنبت غذائى صلب .



شكل ١٦-١ : بلاكات تكونت نتيجة لغزوفاج تى ٢ لبكتيريا القولون .

ويمكن بسهولة عزل الخلايا البكتيرية المصابة عن جسيمات الفيروس المراد عدها فى معلق ما وذلك بالطرد المركزى على سرعة مناسبة ، فتتفصل الخلايا مترسبة فى قاع أنبوبة الطرد المركزى ، بينما تبقى جسيمات الفيروس معلقة فى السائل ، ويمكن عدها بعد ذلك بالطريقة السابقة بعد عمل التخفيفات المناسبة ، كما يمكن أيضا التخلص من الخلايا المصابة فى معلق يحتوى على خلايا وجسيمات فاج ، وذلك بـسرج المعلق مع نقط قليلة من الكلوروفورم . فالمعروف ان جسيمات الفاج تقاوم الكلوروفورم ولا تتأثر به ، أما الخلايا البكتيرية فتقتلها المعاملة بالكلوروفورم .

عزل وتنقية الفاج :

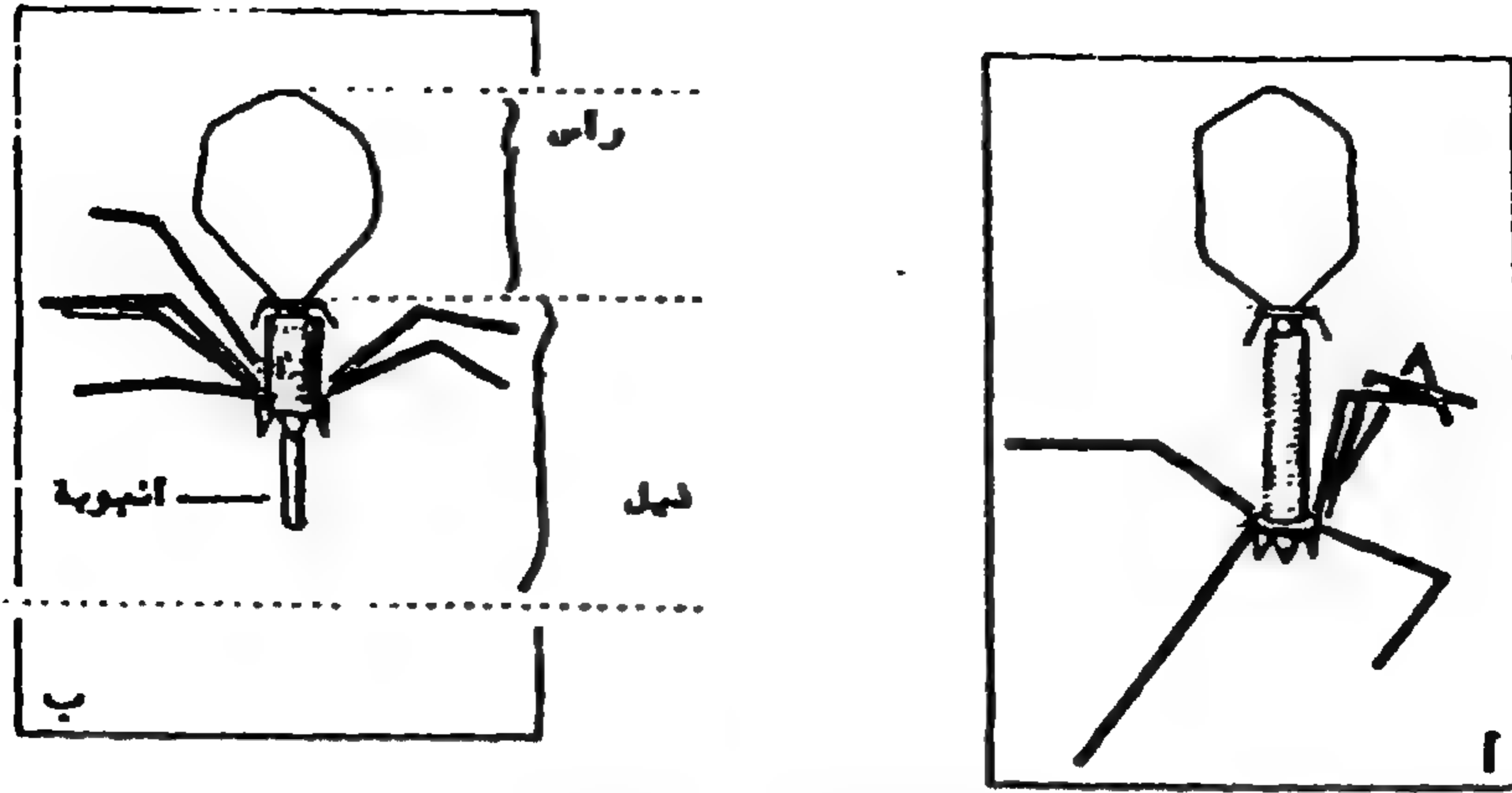
يمكن استعمال طريقة البلاك السابقة الذكر لعزل الفاج الخاص ببكتيريا معينة من الطبيعة ، وذلك باستعمال هذه البكتيريا كعائل يتكاثر عليه الفاج المطلوب . ومثل ذلك الفاج يوجد فى الطبيعة فى الأماكن التى توجد فيها البكتيريا العائل ، فأنواع الفاج التى تهاجم بكتيريا القولون توجد بكثرة فى مياه المجارى حيث توجد بكتيريا القولون نفسها . لذلك ، فعند الرغبة فى عزل فاج خاص بمهاجمة نوع معين من البكتيريا ، فان عينة من المصادر الطبيعية لهذه البكتيريا يتم رجها مع الماء ثم يرشح السائل الرائق بعد الرج خلال مرشح بكتيرى غشائى (وهى أغشية لا تسمح بمرور خلايا البكتيريا ، ولكنها تسمح بمرور الفيروسات) ويمكن الاستعاضة عن خطوة الترشيح السابقة الذكر بإضافة قطرات قليلة من الكلوروفورم الى السائل الرائق الناتج بعد الرج ، وذلك لقتل الخلايا البكتيرية الموجودة مع الفاج .

! والسائل المتحصل عليه بعد الترشيح أو بعد الخلط مع الكلوروفورم يخلط بكميات مختلفة مع معلق بكتيرى من البكتيريا الحساسة ، ويحضر على أطباق أو مستنبت مغذى صلب مناسب . وأى بلاكات تظهر على سطح المستنبت بعد التحضين تمثل جسيمات الفاج التى توجد فى المصادر الطبيعية المستخدمة فى بداية التجربة ، ويمكن عزل الفاج من بلاك وحيد منفرد ، وذلك بالقطع خلال الآجار بواسطة ابرة تلقيح معقمة وتعليق قطعة الآجار المقطوعة فى حجم صغير من سائل التخفيف . ومثل هذا المعلق يحتوى عادة على عدد يتراوح بين 10^4 الى 10^6 جسيمات فاج فى الملليلتر الواحد .

أما التنقية فيمكن عادة تحقيقها بعمل سلسلة تخفيفات من المعلق المتحصل عليه من بلاك واحد واعادة زرعها على البكتيريا موضع الدراسة .

ولاعداد كميات كبيرة من الفاج - للتحليل الطبيعى والكيميائى - يجرى تلقيح الفاج فى مزرعة بكتيريا سائلة نامية نموا لوغاريتميا ... وفى مثل هذه الحالة فان الفاج يهاجم الخلايا فى المزرعة السائلة فى سلسلة من المهاجمة وتحليل الخلايا ، وفى خلال ساعات قليلة - وتتحول المزرعة من الحالة العكرة الى الحالة الرائقة ، وتحلل معظم أو كل خلايا المزرعة . ويمكن تخليص هذا السائل من الخلايا المتبقية - ان وجدت - بواسطة الطرد المركزى على سرعة منخفضة ، فتترسب الخلايا بينما يبقى الفاج معلقا أو بمعاملة السائل بنقط قليلة من الكلوروفورم ويكون الناتج بذلك خاليا من الخلايا ويسمى Sterile lysate وعادة مـبـا يحتوى مثل هذا المعلق الفيروسي على 10^9 الى 10^{12} جسيمات فاج فى الملليلتر الواحد ، وذلك علاوة على بقايا وأشلاء الخلايا التى انفجرت .

والخطوة الأخيرة فى تنقية الفاج يمكن تحقيقها عادة بقوة الطرد المركزى على سرعات فائقة تصل الى أكثر من ١٠٠٠٠ ر.د. مرة قدر قوة الجاذبية الأرضية ، وقد يسبق الخطوة الأخيرة هذه خطوة ترسيب لجسيمات الفاج من المعلق بواسطة المعاملة بملح كبريتات الأمونيوم .



شكل ١٦-٢ : رسم تخطيطي لبكتيريوفاج تي ٢

- أ - قبل حقن الحمض النووي .
ب - عند حقن الحمض النووي في الخلية البكتيرية .

تركيب فاجات تي ذات الأرقام المزدوجة وعلاقته بتركيب الفاجات الأخرى

تتركب هذه الفيروسات من رأس وذيل (شكل ١٦-٢) ، ويحتوى الرأس على الحمض النووي دى أوكس ريبو نيوكليك مزدوج السلسلة dsDNA وكمية صغيرة من مركبات عديدة الأمين Polyamines وعدد من البروتينات وسلاسل الببتيدات الصغيرة . ويشبه الرأس نصفى شكل متعدد الأوجه (ايكوساهيدرال) متصلين ببعضهما بستة أوجه قصيرة منشورية الشكل ... ويختلف هذا الشكل عن بعض الفاجات الأخرى مثل فاج السالمونيلا *Salmonella phage* والمسعى بي ١ (P1) ، بي ٢ (P2) وغيرها من فاجات بكتيريا القولون Coliphages المعروفة باسم فاج لامدا λ phage .

ذات الشكل المتعدد الأوجه الدقيق :

تختلف الذيل في الفاجات اختلافا كبيرا في قطر وتركيب الذيل ، فالذيل في فاجات تي ذات الأرقام المزدوجة يتكون من أنبوبة مركزية حلزونية (والتي يمر من خلالها الحمض النووي دى أوكس ريبو نيوكليك عند غزو الفيروس لخلية بكتيرية) محاطة بطبقة حلزونية Helical sheath

قابلة للتقلص (مثل السوستة) ، وهذه الطبقة الحلزونية متصلة من أسفلها بصحيفة قاعدية Base plate ذات شكل سداسي ولهها تركيب معقد ، كما أن لها طرفا مديبا عند كل زاوية ، وتتصل هذه الصحيفة القاعدية بستة ألياف ذيلية tail fiber رفيعة وطويلة ، وهذه الليفات الذيلية هي أعضاء الاتصال بجدار الخلية العائل .

أما فاجات تي ١ (T1) وتي ٥ (T5) فلا تحاط فيها الأنبوبة المركزية الحلزونية بالطبقة الخارجية Sheath . أما فاجات تي ٣ (T3) وتي ٧ (T7) وكذلك فاج تي ٢٢ (T22) الذي يصيب السالمونيلا Salmonella ، فهي ذات ذيل قصير ينتهي بتركيب يشبه الصفيحة القاعدية متصل به ستة ليفات ذيلية قصيرة . أما فاج فاي - اكس ١٧٤ (Ø X- 174) وهو من الفاجات التي تصيب بكتيريا القولون أيضا ، فليس به ذيل .

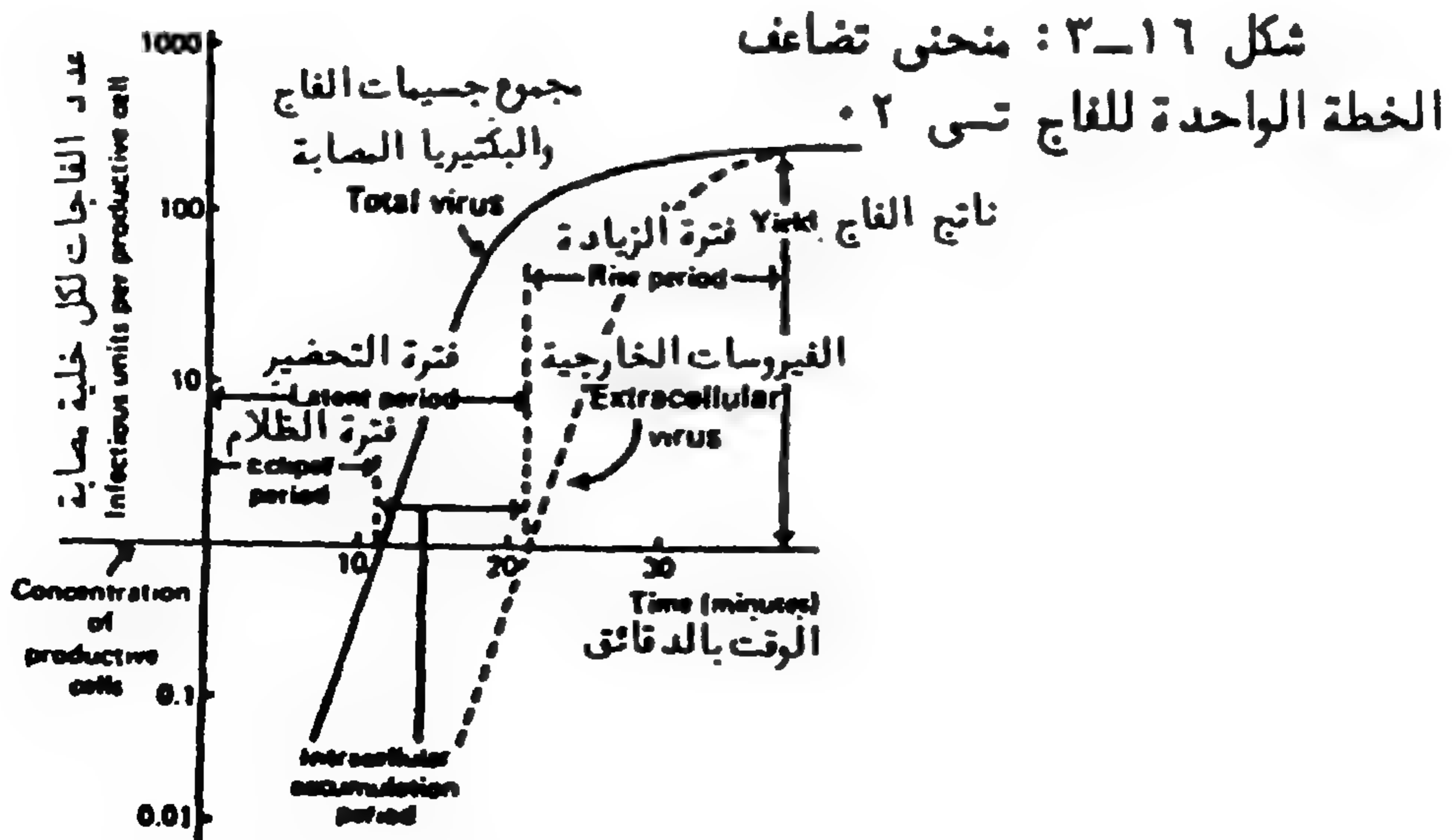
ويمكن الحصول على الغطاء البروتيني للفاج المفرغ من الحمض النووي DNA less capsid والمسمى شبح (أو أشباح الفاج Phage Ghosts) بواسطة التخفيف السريع (لأحد فاجات تي ذات الأرقام المزدوجة) من محلول مركز في ماء ، فينتج عن ذلك صدمة أسموزية Osmotic bursting أو انفجار أسموزي للرأس ، فينفصل الحمض النووي عن المحفظة (الشبح) .

منحنى تضاعف الخطوة (المرحلة) الواحدة في الفاجات

One step multiplication curve

ان منحنى تضاعف الخطوة الواحدة يصف انتاج نسل الفاج بمرور الوقت بعد اصابة الخلية البكتيرية تحت ظروف تجربة تضاعف الخطوة الواحدة . فتخلط مزرعة من البكتيريا الحساسة للفاج مع جسيمات الفيرون ، وتحضن لفترة زمنية قصيرة لتسمح للفاج بالامتزاز على سطح البكتيريا . فاذا كان عدد البكتيريا كبيرا جدا بالنسبة لعدد الفيرونات ، فإن كل جسيم فيرون تقريبا يمتز على سطح خلية من الخلايا ، ثم تخفف المزرعة بعد ذلك تخفيفا كبيرا ويسمح لها بالنمو ، ثم يقدر عيار جسيمات

الفاج الخارجية extracellular titer ومجموع جسيمات الفـاج الخارجية والخلايا المصابة total titer . دوريا — على فترات متقاربة باجراء عد البلاكات plaques التي تظهر على بكتيريا حساسة نشطة نامية على أطباق مستنبت غذائي صلب ، وتقدر أعداد جسيمات الفـاج الخارجية extracellular titer بأخذ عينات من المخلوط المخفف — على فترات — دوريا ، وتعريضها لطرْد مركزي بسرعات منخفضة فترسب الخلايا ، أما جسيمات الفـاج فتظل معلقة ، ويمكن عدها بالحقن على الأطباق المحتوية على البكتيريا الحساسة . كما يمكن الاستعاضة عن خطوة الطرد المركزي بإضافة قطرات من الكلوروفورم للعينة . فتقتل البكتيريا ، وتصبح جسيمات الفـاج الخضرية Vegetative phage الموجودة داخلها غير قادرة على تكوين بلاكات ، أما مجموع جسيمات الفـاج الخارجية والبكتيريا المصابة plaques فيجربى تقديره بسحب عينات على فترات دورية ولا تطرد مركزيا ، ولكن يجربى حقنها مباشرة على أطباق آجار تحتوى على البكتيريا الحساسة فيتكون بلاك plaque لكل خلية بكتيرية مصابة أو جسيم فـاج خارجى (شكل ١٦-٣) يوضح شكل المنحنى المتحصل عليه فى مثل هذه التجربة .



وكما هو واضح من الشكل ، تتكون دورة تضاعف الفـاج من عدة فترات ...
وهي :

Eclipse period:

١- فترة الظلام:

وفيهما يكون عدد الفاج الكلى صغيرا جدا أو منعدم (وهى ما تبقى من الفاج فى بداية التجربة دون امتزاز فقط) . ونهاية فترة الظلام تمثل الوقت اللازم لكى تصبح كل خلية مصابة ممثلة لوحدة منتجة Productive unit للفاج فى المتوسط ، ويأتى بعد هذه الفترة فترة تراكم الفيروسات الداخلية...

والواقع أنه بعد حقن الحمض النووى الفيروسى داخل البكتيريا ، فان الخلايا الكاملة تنتج بلاكات (بقع) Plaques (انظر كشف واظهار الفاج) ولكن الخلايا التى يتم تكسيروها (بالكلوروفورم) بعد الإصابة لا يمكنها انتاج بلاكات . والبلاكات التى تظهر من الخلايا الكاملة تظهر فقط بعد انقضاء فترة تكوين الفيرونات فى الخلايا المصابة .

فالفيرونات الكاملة يمكنها غزو خلايا جديدة . أما الحمض النووى الفيروسى (الناتج عن تكسير الخلايا بالكلوروفورم) بدون غطاء ، فانه لا يمكنه غزو خلايا جديدة لانتاج فيرونات كاملة ، فلا تتكون بلاكات ، وبذلك فانه قبل تكوين فيرونات كاملة فى الخلايا المصابة لا تتكون بلاكات مسببة حدوث فترة الظلام المذكورة ، وبعبارة أخرى يمكن تبرير حدوث فترة الظلام بعدم قدرة الحمض النووى الفيروسى (بدون المحفظة) على غزو خلايا بكتيريا تحت الظروف العادية .

٢- فترة تراكم الفيروسات الداخلية:

Intracellular accumulation

وفيهما يتراكم نسل الفاج داخل الخلية ، ولكنه لا ينطلق فى البيئة خارج الخلية ، ونهاية هذه الفترة تمثل تكوين جسيم فيريون خارجى (فى المتوسط) لكل خلية مصابة ، ومجموع فترة الظلام وفترة تراكم الفيروسات الداخلية معا يمثل ما يعرف باسم فترة التحضير latent period ونهاية فترة تراكم الفيروسات الداخلية تمثل نهاية فترة التحضير .

٣- فترة الزيادة : Rise period :

وفيها يزيد عدد الفيروونات الخارجية Extracellular phage titer حتى يثبت العدد ، وهذه تمثل نهاية فترة التضاعف أو نهاية دورة التضاعف . ويسمى متوسط عدد الفيروونات الناتجة عن كل خلية أصيبت باسم (الناتج الفيروسي Viral yield) .

وفي أثناء فترة الزيادة تنفجر الخلايا (Cell lysis or burst) المصابة لافراز الفيروونات الكاملة في البيئة . ويتسبب انفجار الخلايا في انخفاض درجة تعكير البيئة .

١- دورة تضاعف الفاج الحلقى مزدوج السلسلة المحتوي على حمض

دنا حلقى مزدوج السلسلة

ان دورة تضاعف فاجات تي مزدوجة الأرقام هي أكثر هذه المجموعة من الفيروسات دراسة ، وتتم دورة التضاعف المذكورة في خمس مراحل مميزة ... وهي :

أولا : إصابة الخلية العائل : Infection of host cell بالفاج :

وهي تشمل عمليتين متتاليتين .. هما امتزاز الفيرون على سطح الخلية العائل ثم انفصال الحمض النووي عن المحفظة وحقنه في الخلية العائل ...

وفيما يلي شرح لهاتين العمليتين :

أ- امتزاز Adsorption الفيرون على سطح الخلية العائل :

وهي أول خطوة في الإصابة ، وهي خطوة على درجة عالية من التخصص ، إذ يتم الاتصال أو التفاعل بين أعضاء الامتزاز adsorption

الخاصة بالفاج مثل الذيل مع أعضاء أو أماكن الاستقبال receptor sites على سطح الخلية المعائل ، ويؤدي هذا التفاعل الى امتزاز adsorption لجسيمات الفاج على سطح الخلية . وهذا التفاعل يكون في بدايته عكسياً . اذ يمكن ازالة الفاج من سطح الخلايا في بداية الاتصال ، ولكن في النهاية يكون التفاعل غير عكسي ، ولا يمكن غسل الفاج من سطح الخلية في الظروف المناسبة من درجة الحرارة والقوة الأيونية Ionic strength .

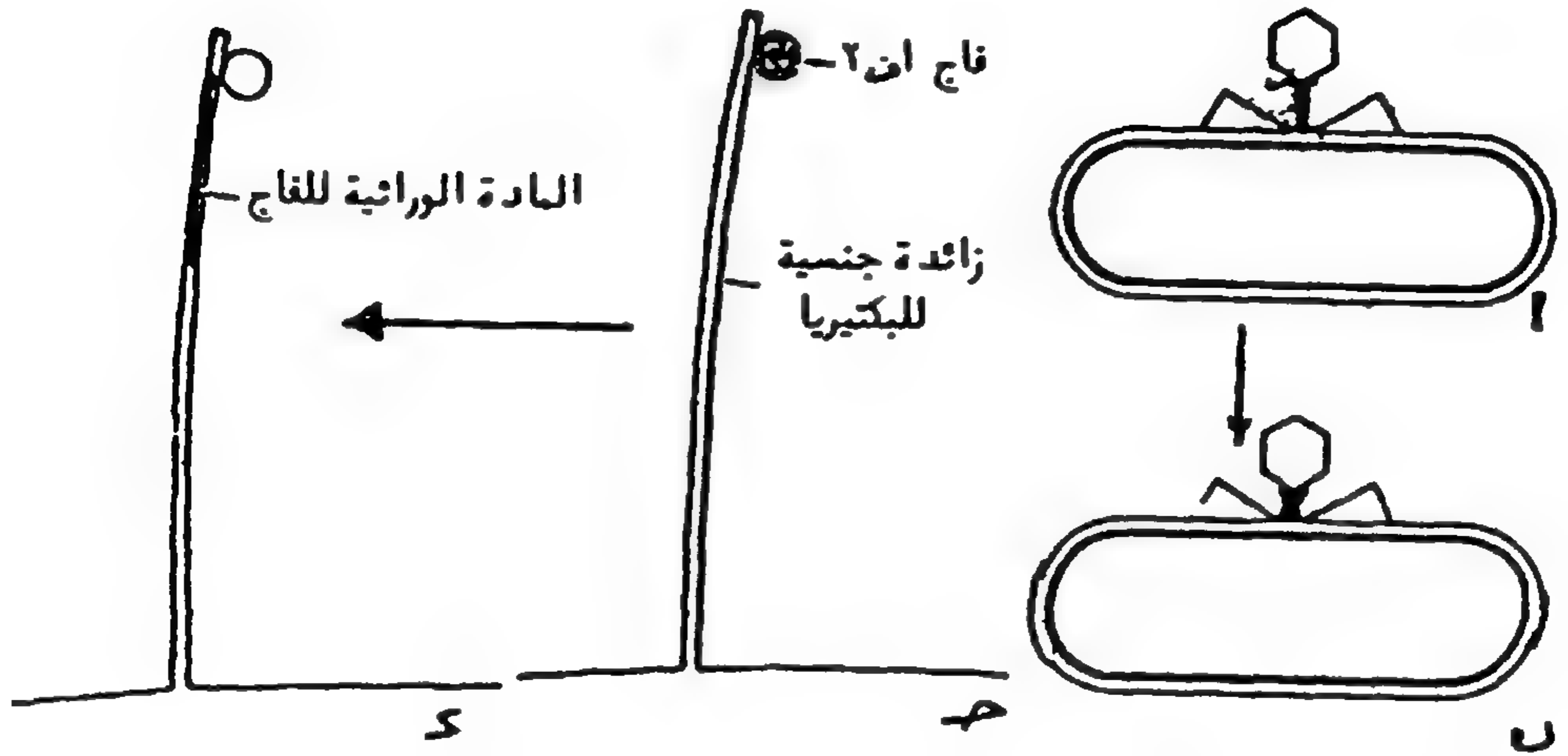
كما أنه يمكن انتخاب سلالات بكتيرية ذات طفرات في أماكن الامتزاز ، ومثل هذه الطفرات تكون مقاومة للغزو بالفاج الذي تم تطهير أماكن امتزازه على سطح الخلية مثل سلالات البكتيريا B2 فهي تقاوم الغزو بواسطة فاج تي ٢ (T2) . كما انه تم استنباط طفرات من فاج تي ٢ (T2) تستطيع الامتزاز الى سلالة البكتيريا (B2) وهذه الطفرة يمكنها اكمال دورة تضاعف عادية في هذه السلالة من البكتيريا (B2) ويرمز لطفرة الفاج تلك تي ٢ اتش (T2h) .

موقع امتزاز الفيريون على الخلية :

لكل الفيريونات موقع امتزاز متخصص لكل منها ، فكل من فاجات تي ذات الأرقام المزدوجة (Teven) لها موقع متخصص ذو تركيب معقد على سطح الخلية ، وهذا الموقع يميز الليفات الذيلية tail fibers للفاج المخصص له دون غيرها من الليفات الذيلية للفاجات الأخرى . وقد أوضحت دراسات المجهر الالكتروني ارتباط الليفسات الذيلية النقية بمواقع محددة على سطح الخلية ارتباط غير رجعي Irreversibly . كما أنه امكن فصل هذه المواقع من سطح الخلية ووجد أنها ترتبط بالفاجات المخصصة لها بارتباط غير رجعي Irreversibly . وهذه المواقع المحددة من سطح الخلية تسمى مواقع الاستقبال Receptor أو Receptor sites وهي عادة من مركبات عديدة السكريات معقدة التركيب أو مركبات بروتينية ولها صفات انتجينية خاصة وعلى سبيل المثال ، فقد وجد أن موقع الاستقبال لفاج لامدا (λ)

هو البروتين الناقل لسكر المانوز Mannose transport protein .

بينما يمتاز فاج اف ٢ (f2) وهو فاج يحتوى على رن أ (RNA)
يمتاز على الزوائد الجنسية Sex pili لبكتيريا القولون *E. coli* بينما
يمتاز فاج fd (وهو فاج يحتوى على DNA) عند الطرف البعيد فقط
للزوائد الجنسية المذكورة (شكل ١٦-٤) .



شكل (١٦-٤) : يوضح امتزاز فاج تي ٢ (أ، ب)
أف ٢ (ج، د) على خلايا البكتيريا المعائل أ .

تأثير امتزاز الفاج على الأيض الخلوى :

Effect of phage adsorption on cellular metabolism

ان مجرد اتصال ذيل أحد فاجات تي ذات الأرقام المزدوجة
Teven دون حقن للحمض النووى يؤدي الى اختلال الغشاء الخلوى
disorganization ويؤدي الى زيادة نفاذيته بحيث يسمح بتسرب بعض
الجزئئات الصغيرة (مثل النيوكليوتيدات nucleotides) الى
الوسط الخارجى . ويحدث مثل هذا الاختلال أيضا عند امتزاز أشباح

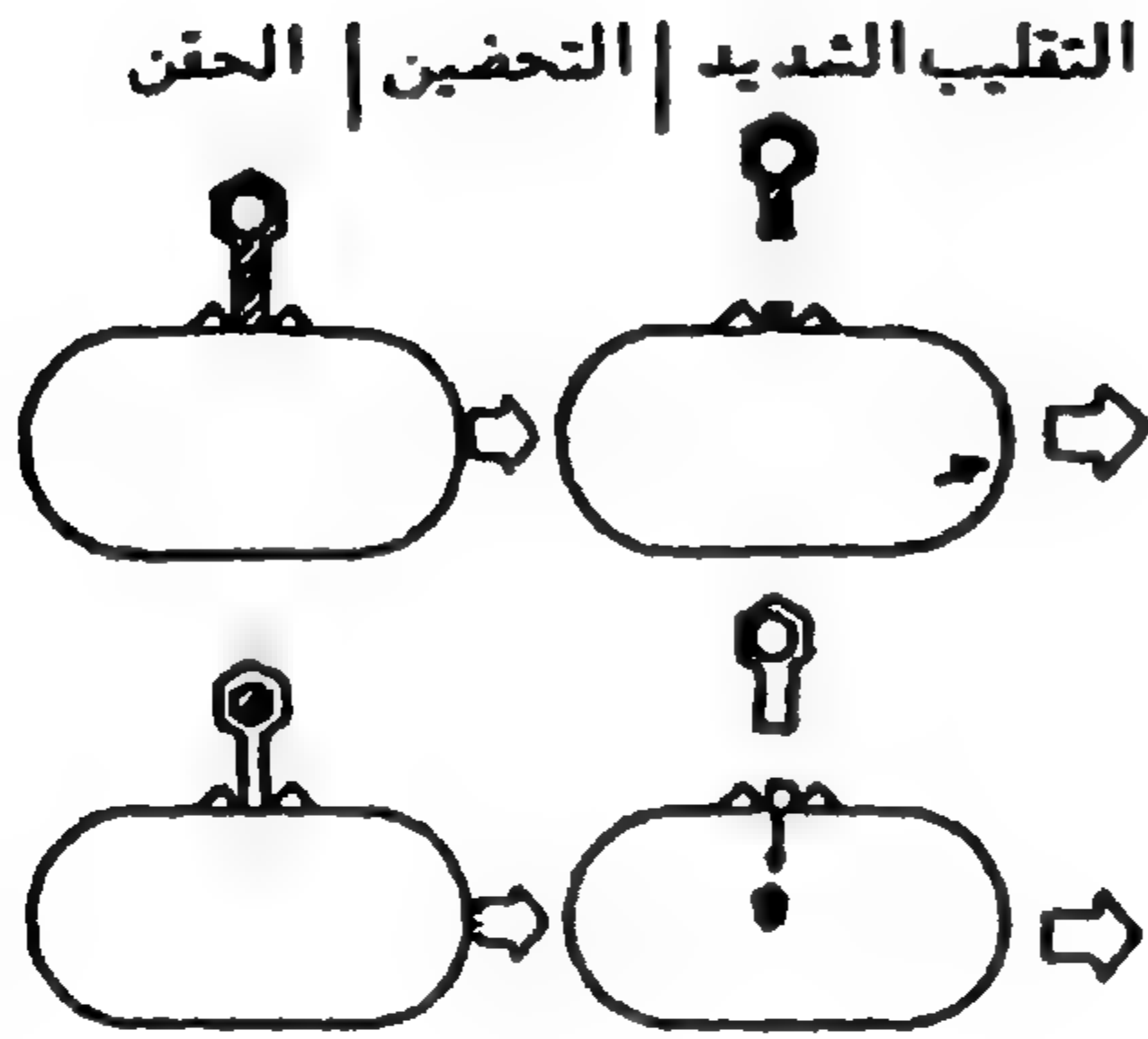
ghosts الفاج (وهي الغطاء البروتينى للفاج الخالى من الحمض النووى) على سطح الخلية ، وهذا الاختلال يحدث تأثيرا بالغا على أيض الخلية بما فى ذلك التوقف السريع لبناء بروتينات الخلية ينتهـبـى بتحلل أو انفجار الخلايا ... لذلك نجد أن الخلايا التى يمتز على سطحها أشباح الفاج تنفجر دون أن يحقن فيها حمض نووى فيروسى ، ويسمى هذا الانفجار " انفجار بدون تكوين فاجات جديدة (Lysis from without) .

أما الخلايا التى يمتز على سطحها فيروسات كاملة ، فان هذا التغير فى الغشاء الخلوى يكون تغيرا مؤقتا فقط . اذ ينعكس هذا التغير بسرعة بعد حقن الحمض النووى الفيروسى فى الخلية . فعند حقن الحمض الفيروسى فى الخلية تتكون بعض البروتينات الفيروسية التى تدمج مع الغشاء الخلوى فيستعيد سيطرته على نفاذية الجزيئات الصغيرة . بل وأكثر من ذلك ، فان هذه البروتينات التى تدمج فى الغشاء الخلوى تكسب الخلية مناعة immune ضد عودة الإصابة supersinfection بفاجات أخرى من نفس النوع ، كما تصبح الخلية مقاومة أيضا (للانفجار بدون lysis from without) من جراء الغزو بأشباح الفاج .

ب - انفصال الحمض النووى عن المحفظة وحقنه فى الخلية العائل :

والخطوة الثانية من الإصابة وتشمل انفصال الحمض النووى الفيروسى عن المحفظة وحقنه فى الخلية العائل ، وقد تم اثباتها بواسطة واحدة من أهم التجارب فى علم البيولوجى (الحياة) الحديث بواسطة العالمان هيرش وشاس Hershey & Chase فى عام ١٩٥٢م ، حيث أثبتا هذان العالمان بتجربتهما المشهورة انفصال الحمض النووى عن المحفظة بعد الامتزاز وحقنه داخل الخلية العائل ، فقد قام هذان العالمان بإنتاج نوعان من فاج تى ٢ T2 النوع الأول يحتوى غطاء البروتينى على كبريت مشع (^{35}S) والنوع الثانى من فاج تى ٢ T2 يحتوى حمضه النووى DNA على فوسفور مشع (^{32}P) .

تم خلط الفاج الأول المحتوى على الكبريت المشع ^{35}S مع البكتيريا الحساسة حتى تحدث الإصابة ثم عرضت المزرعة لتقليب شديد في خلاط عالي السرعة لفصل الفيروسات عن البكتيريا المصابة ، وتم فصل الخلايا من المعلق بالطرد المركزي ، فوجد أن معظم الكبريت المشع ^{35}S ٨٠٪ فصل في السائل ، ولم يتبقى مع الخلايا الا نسبة بسيطة ، مما يدل على أن الغطاء البروتيني بقى خارج الخلية (شكل ١٦-٥) .



أ- عند استعمال فاج ذو بروتين ^{32}S
تتفصل معظم المادة المشعة عن الخلايا .

ب- عند استعمال فاج ذو دنا ^{32}P
تبقى المادة المشعة مع الخلايا .

شكل (١٦-٥) تجربة هيرشى وشاس
لايضاح انفصال دنا الفيروسى عن
البروتين عند الحقن فيبقى البروتين
خارج الخلية بينما يحقن الحمض النووى
داخل الخلية .

أما الفاج الثانى المحتوى على الفوسفور المشع ^{32}P فى حمضه
النووى ، فقد خلط مع البكتيريا الحساسة أيضا وسمح له بالإصابة ثم عرضت
المزرعة لتقليب شديد فى خلاط عالي السرعة لفصل الفيروسات عن البكتيريا
المصابة ، وتم فصل البكتيريا من المعلق بالطرد المركزي ، فوجد
أن معظم الفوسفور المشع ^{32}P يبقى مع الخلايا المترسبة ، أما السائل
المنفصل فلا يحتوى على نسبة تذكر من الفوسفور المشع ... مما يدل
على أن الحمض النووى الفيروسي قد بقى مع الخلايا المصابة ، وحيث
أن هذا الحمض النووى الفيروسي لم يتحلل عند اضافة أنزيم الـ DNase فقد أخذ ذلك دليلا على أن الحمض النووى
الفيروسي يكون داخل الخلايا وليس خارجها . ذلك أن الحمض النووى
ان وجد خارج الخلايا لتحلل بالانزيم المذكور .

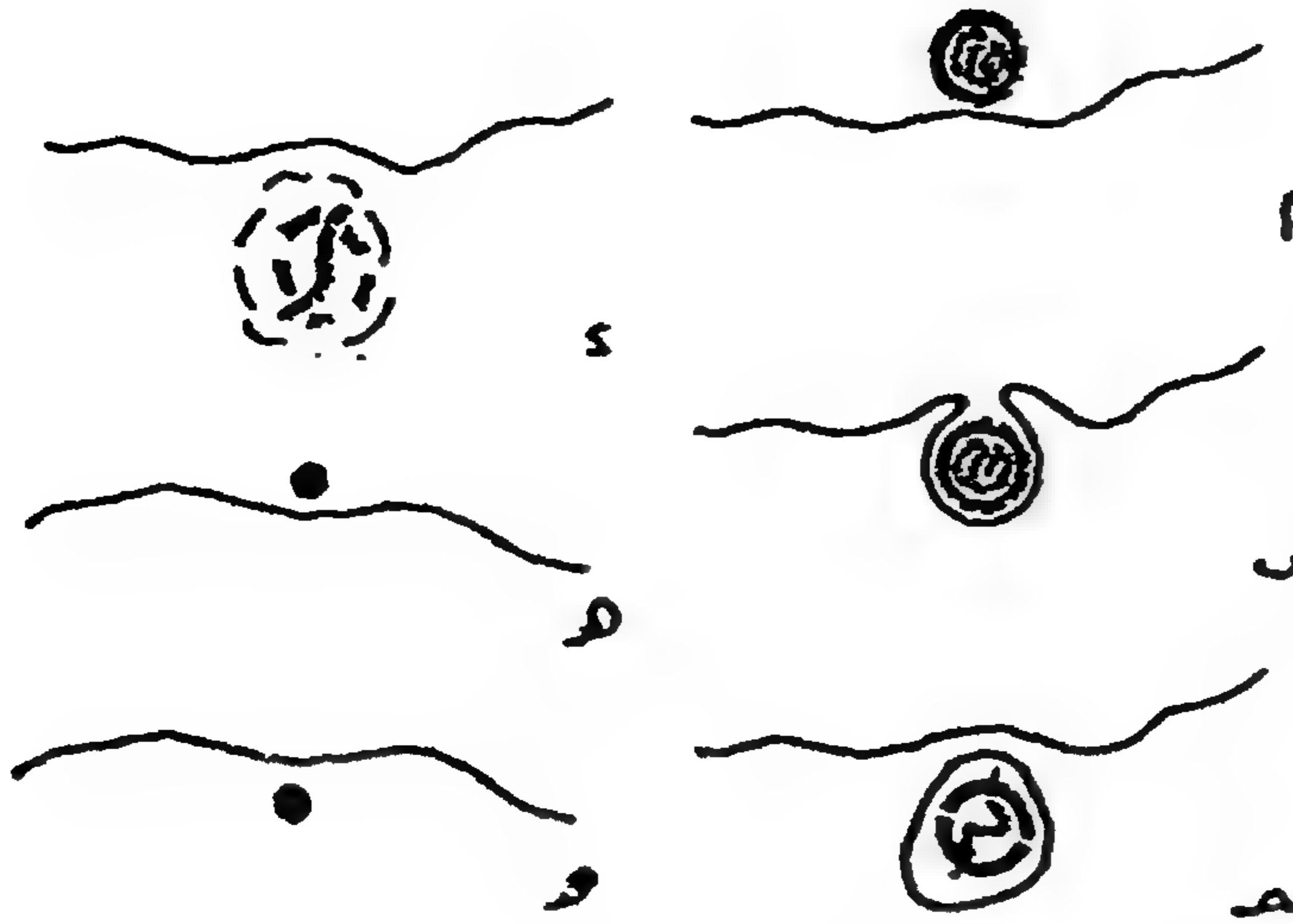
كما أن الخلايا التي تعرضت للتقليب الشديد في كلا التجريبتين أفرزت بعد ذلك جسيمات فيروسات كاملة ، كما لو لم تكن قد عرضت لعملية التقليب الشديد ...

وهذه النتائج أوضحت بدليل لا يقبل الشك أن الحمض النووي للفاج هو الذي يحمل الصفات الوراثية الفيروسية الى داخل الخلية .

ثم أجريت تجربة أخرى تم فيها خلط الفاج مع أجزاء الجدار الخلوي بدلا من خلطه مع خلايا حية ، فوجد أن الحمض النووي DNA الفيروسي قد أفرز في البيئة حيث أمكن تحليله بواسطة أنزيم الـ أوكسس ريبو نيوكليز DNase . وأوضحت هذه النتائج أن دخول الحمض النووي الفيروسي الى داخل الخلية العائل لا يتطلب طاقة من الخلية .

علاقة خطوة الحقن في فاجات تي ذات الأرقام الزوجية بالحقن في الفاجات الأخرى

ان ميكانيكية حقن الحمض النووي الفيروسي لفاجات تي ذات الأرقام الزوجية T even التي تتم بما يشبه الحقنة Syring like المعروفة لتعاطي الأدوية ... هي ميكانيكية فريدة في نوعها ، ومن غير المعروف حاليا كيف يستطيع العديد من الفاجات اختراق الغشاء الخلوي . وبعد اكتشاف هذه الميكانيكية تولد الاعتقاد بأن كل الفيروسات تحقن حمضها النووي داخل الخلية بينما تبقى بروتينات المحفظة دائما خارج الجدار الخلوي . ولكن ذلك ليس صحيحا دائما ، فبعض الفيروسات تخترق الخلايا بميكانيكية مختلفة تماما عن ذلك (شكل ١٦-٦) . فمثلا نجد أن الفاجات الحلزونية helical (الخييطية filamentous) التي تحتوي حمض نووي DNA مفرد السلسلة تخترق الجدار الخلوي بكاملها (بما في ذلك البروتين الأساسي Major protein للمحفظة) ثم يترك البروتين الأساسي الأساسي للمحفظة على أو في الغشاء الخلوي ، بينما يدخل الحمض النووي DNA محملا ببروتين ثانوي minor protein يسمى بروتين A protein الى داخل السيتوبلازم الخلوي .



شكل ١٦-٦ : ابتلاع جسيم
الفيروس بأكمله والخطوات
التالية التي تتم داخل الخلية
وما زالت ميكانيكية هذا النوع
من الإصابة غير واضحة .

ثانيا : تخليق البروتينات الفيروسية المبكرة :

: Viral Early protein synthesis

بمجرد وصول الحمض النووي الفيروسي الى داخل سيتوبلازم
الخلية العائل ، يتم فوراً تكوين بعض البروتينات من الجينات الفيروسية
بواسطة الأنزيم الخلوي RNA Polymerase والريبوسومات الخلوية .
وتسمى هذه البروتينات باسم البروتينات المبكرة Early proteins وهي
عبارة عن الأنزيمات اللازمة لتضاعف الحمض النووي الفيروسي وتحليل
الحمض النووي الخلوي . ففي حالة فاجات تي ذات الأرقام المزدوجة
T even على سبيل المثال تشمل البروتينات المبكرة الأنزيمات
المسئولة عن تكوين 5-hydroxymethyl cytosine والمركبات ثلاثية الفوسفات
لهـ ، وكذلك انزيمات DNA polymerase, DNase .

وقد سهل وجود القواعد النيتروجينية 5-hydroxymethyl cytosine
في الحمض النووي الفيروسي لفاجات تي ذات الأرقام المزدوجة اكتشاف
مراحل تضاعف الفيروسات بعد وصول الحمض النووي الفيروسي الى داخل
سيتوبلازم الخلية ، فقد استغل العالم هيرشي Hershey هذه الخاصية
التي تنفرد بها فيروسات تي ذات الأرقام المزدوجة لاثبات أن :

(١) بناء الحمض النووي الخلوي DNA يتوقف تماماً

ويستبدل ببناء الحمض النووي دن أ DNA الفيروسي .

(٢) الحمض النووي دن أ DNA الخلوي يبدأ في التحلل degradation ويستخدم ناتج تحلل الحمض النووي كأحجار بناء للحمض النووي دن أ DNA الفيروسي .

وقد أصبح واضحاً الآن أن بناء الأحماض النووية دن أ DNA ، رن أ RNA الخلوية وكذلك البروتينات الخلوية يتوقف في خلال دقائق قليلة بعد وصول الحمض النووي دن أ الفيروسي الى سيتوبلازم الخلية المعائل ... وهذا التوقف لا يرتبط بالتغير المؤقت الذي يحدث في الغشاء الخلوي عند امتزاز الفيروسات على سطح الخلايا ، ولكن توقف بناء البروتينات والأحماض النووية الخلوية يرجع بالدرجة الأولى الى بناء البروتينات الفيروسية المبكرة ، ولذلك ففي فاج تى ٤ (T4) تقسم البروتينات الفيروسية المبكرة الى قسمين هما :

أ - البروتينات المبكرة الفورية : Immediate early proteins

وهي تتكون فور وصول الحمض النووي الفيروسي الى الخلية وتسبب إيقاف بناء المكونات الخلوية .

ب - البروتينات المبكرة المؤجلة : Delayed early proteins

وهي تتكون أيضاً فور وصول الحمض النووي الفيروسي الى الخلية وتلزم لمضاعفة الحمض النووي الفيروسي ... لذلك يستمر بناءها لفترة زمنية طويلة نسبياً .

والبروتينات المبكرة تنتسخ من السلسلة اليسرى left strand للحمض النووي الفيروسي دن أ DNA . وهذا مقارنة بما يعرف باسم البروتينات المتأخرة . (وهي البروتينات التي يتم انتاجها في مرحلة متأخرة عن الإصابة بفاج تى ٤ T4 وهي تنتسخ من السلسلة اليمنى

Right strand • والبروتينات المتأخرة تشتمل على انزيمات تحليل
الخلايا العائل وبروتينات المحفظة (الغطاء البروتيني للفاج) •

قد يبدو أنه من المحتمل أن كل الفيروسات تحمل المعلومات
الوراثية - على الأقل - لبعض الانزيمات الضرورية لمضاعفة الحمض النووي
الفيروسي ، ولكن العديد من الفيروسات - على خلاف ما هو معروف في
فاج تي ٤ ٢٤ - تعتمد على المعلومات الوراثية للحمض النووي للخلية
العائل لامتدادات الأنزيمات المختلفة اللازمة لتضاعف الفيروس ، وفي
تلك الحالات لا يتحلل الحمض النووي DNA للخلية العائل ، ولكنه
يستمر في العمل كمادة وراثية لانتاج البروتينات المختلفة اللازمة لبناء
الفيروس ، وذلك علاوة على البروتينات التي تنتج من ترجمة المعلومات
الموجودة على الحمض النووي الفيروسي •

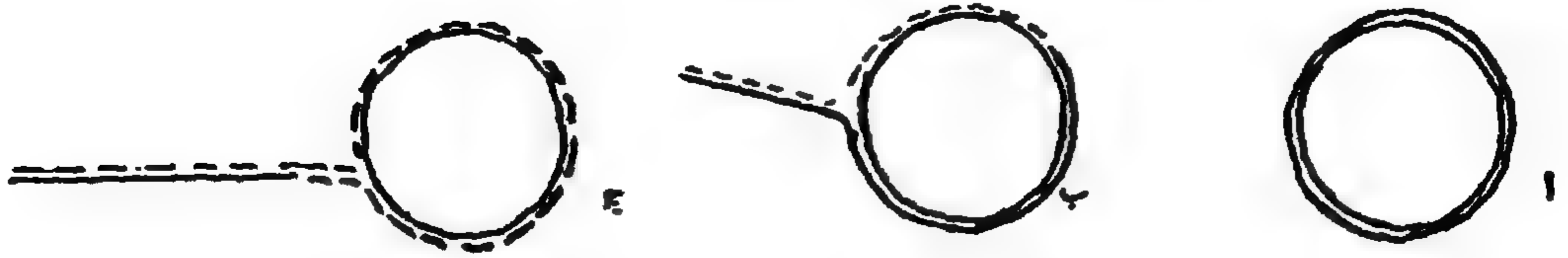
ثالثا : تضاعف الحمض النووي الفيروسي :

Replication of Phage Nucleic Acid

يتضاعف الحمض النووي DNA الفيروسي وفقا للميكانيكية
العامة لتضاعف ال DNA التي تتم في سائر الكائنات ، ومجملها
أن كلا السلسلتين تتفصلان عن بعضهما ، وتعمل كلا السلسلتين
كأساس لتكوين سلسلة أخرى جديدة مكملتها ، وينتج عن ذلك جزيئان
DNA متماثلين تماما مع جزيء DNA الأساسي •

وهناك اختلافات بسيطة في تفاصيل تضاعف جزيء الحمض النووي
DNA الفيروسي وفقا لما إذا كان الحمض النووي DNA من النوع
الحلقي أو المستقيم • فالفاجات التي تحتوي على جزيئات DNA
حلقية مزدوجة السلسلة يتم تضاعف الحمض النووي لها بأحد نظامين •
النظام الأول والشائع في سائر الكائنات كما سبق الإشارة إليه ، ويعرف
باسم النظام المتماثل ، وفيه تعمل كلا من السلسلتين المنفصلتين
الحلقتين كأساس لتكوين سلسلتين أخرتين مكملتين لهما • لذلك ، فكلا
السلسلتين المتماثلتين في تكوين جزيئات حمض نووي DNA جديدة
مزدوجة السلسلة ، أما النظام الثاني وهو يسمى النظام غير المتماثل

فهو يتم وفقاً لنموذج الدائرة المتدحرجة Rolling circle model وفي هذا النظام الأخير تفتح إحدى السلسلتين فقط وتتحول إلى سلسلة مستقيمة بينما تظل السلسلة الأخرى في صورة حلقة . وتتكون السلسلة المكملية على كلا السلسلتين (شكل ٧-١٦)



شكل ٧-١٦ : التضاعف وفقاً لنموذج الدائرة المتدحرجة .
حيث تفتح إحدى السلسلتين (أ) ثم تتكون السلسلة المكملية لكل منهما
(ب) ثم يتم تقطيع سلاسل مستقيمة مزدوجة من الحمض دنأ (ج) .

والنظام الأخير يستخدم لإنتاج دنأ Linear مستقيم DNA
من جزيئات دنأ DNA حلقية .

أما الفاجات التي تحتوي على جزيئات دنأ مفردة (أحادية)
السلسلة فيلاحظ أنه بمجرد دخول جزيئات الحمض النووي دنأ المفردة
السلسلة إلى الخلية فإنه تتكون جزيئات دنأ DNA مزدوج السلسلة
كمرحلة وسطية للتضاعف ، وعادة ما يتكون جزيء دنأ المزدوج السلسلة
بواسطة إنزيم DNA polymerase من أصل بكتيري ، وليس من أصل
فيروسي . يلي ذلك تضاعف دنأ المزدوج السلسلة كما سبق الإشارة
إليه بأحد النظامين السابقين ، ثم يتوقف التضاعف ، ثم يقوم أحد
الإنزيمات المتخصصة بتحليل إحدى السلسلتين بحيث تبقى جزيئات
دنأ وحيدة السلسلة من نفس النوع . وهذه الجزيئات هي التي تدخل
في تركيب الفيروسات الجديدة فيما بعد .

أثناء تضاعف جزيئات الحمض النووي دنأ DNA فإنه تحدث
أحيانا تغيرات عشوائية Random في أزواج القواعد . وهذه التغيرات
العشوائية تسمى طفرات mutations . كما قد يحدث كسر وإعادة
اتصال Break and reunion لجزيئات دنأ DNA خاصة إذا تم غسزو

الخلية المصابة باثنين من الفاجات - من ذوى العلاقة وان اختلفت المعلومات الوراثية لكل منهما - فى نفس الوقت - وينتج عن الكسـر واعادة الاتصال لجزيئات دن أ DNA تكوين خلطة وراثية Genetic recombinant فى الفيروسات البنية Proganly .

ومن المهم الاشارة الى أن بعض الفاجات تحتوى على قواعد نيتروجينية خاصة فى حمضها النووى دن أ وذلك مثل فيروسات تسمى ذات الأرقام الزوجية T even حيث يستبدل السيتوزين بقواعد ه - هيدروكس ميثيل سيتوزين (HMC) S-hydroxymethyl cytosine كما يستبدل الثيمين فى دن أ DNA لبعض الفاجات التى تغزو البكتيريا باسيل ساتيلس Bacillus subtilis بالقواعد النيتروجينية ه - هيدروكس ميثيل يوارسيل .

رابعا : تجميع جسيمات فيروسية جديدة : Maturation

بمجرد بدء تضاعف الحمض النووى دن أ DNA الفيروسي ، فان الجينات المسئولة عن البروتينات المتأخرة Late proteins (وهى الجينات التى لم تستخدم لانتاج بروتينات بعد) تبدأ فى انتاج الحمض النووى الريبونوكليك - مرسال (م - رن أ m-RNA) ليتم ترجمة المعلومات منه فى صورة بروتينات . وهذه البروتينات تشمل ضمنها بروتينات المحفظة Capsid proteins الفيروسية . لذلك فان تراكم جزيئات دن أ DNA الفيروسي تكون مصحوبة بتراكم وحدات بروتين الغطاء الفيروسي . ولذلك فان كل جزيء دن أ DNA فيروسي يتم تعبئته باحكام شديد داخل غطاء مكون من وحدات بروتينية تأخذ الشكل متعدد الأوجه للفيروسات الكاملة .

أما في فيروسات تنى ذات الأرقام المزدوجة فإن تكوين فيريونات جديدة يكتمل بيلمر وحدةات بروتينية خاصة لتكوين الذيل بعد تكوين الرأس المتعدد الأوجه .

وعمليات التركيب الذاتية للحمض النووي دنأ DNA مع وحدةات البروتين المذكورة آنفا يتم تسيرها على هذا النمط بواسطة بروتينات تنتجها جينات فيروسية خاصة . وهذه البروتينات الأخيرة تتحكم في وضع وحدةات بروتينية خاصة عند الأركان لتكوين الكابسومرات (البنتامرات أو الهكسامرات) .

ويؤدي أحداث الطفرات في جينات تلك البروتينات الى انتاج فيريونات غريبة مثل الفيريونات عديدة الرؤوس Polyheads أو عديدة الغلاف الذيلي Polysheaths .

خامسا : تحرر الفيريونات الكاملة : Liberation of mature virions

عند نهاية فترة التحضير Latent period للفيروسات المحللة يظهر في الخلية بروتين فيروسي متأخر Viral specified late protein وهو الليسوزايم الفاجي Phage lysozyme (الانزيم المحلل الفاجي) ، وهو انزيم يهاجم طبقة الببتيد وجليكان الصلبة في الجدار الخلوى البكتيرى ويذيبها . لذلك فإن الجدار يضعف تدريجيا الى أن ينفجر بواسطة الضغط الأسموزى المرتفع داخل الخلايا ، وتحرر الفيريونات الجديدة - مع كل محتويات الخلية الى الوسط الخارجى .

تلك هي الخطوات العامة لتضاعف الفاجات ، ولو أن بعض الفاجات قد تشذ عن ذلك ... فمثلا الفاج اف.دى fd وهو ذو شكل خيطى Filamentous ، ويحتوى على الحمض النووى دنأ DNA . فعند تضاعف هذا الفيروس تتكون بروتينات المحفظة بالقرب من الغشاء الخلوى حيث يتواجد الحمض النووى دنأ DNA الفيروسي . وتحدث عمليات التركيب الذاتى للفيريونات الجديدة بالقرب من الغشاء الخلوى ، وعند اكتمال تركيب الفيريونات فانه يتم خروجها من الغشاء بظهور

بروزات من الغشاء تنفصل عن الخلية ثم تنتهي بتحرر الفيرونومات الجديدة . لذلك فان الخلية المائل لا تتفجر لتحرير الفيرونومات الجديدة ، بل تظل حية وتستمر في النمو خلال عملية خروج الفيرونومات الجديدة .

Virus Restriction

ظاهرة اقضاء الفيروسات :

قد تكتسب خلايا البكتيريا المائل مقاومة للفاج نتيجة لحادث طفرة في موقع امتزاز الفاج كما ذكرنا في خطوة امتزاز الفيرون على سطح الخلية . أما النوع الثاني من مقاومة خلية البكتيريا للفاج فيرجع الى وجود انزيمات خاصة تسمى انزيمات الاقضاء Restriction enzyme تقوم بتحليل الحمض النووي دنأ الغريب عن الخلية (مثل دنأ الفيروسي الذي يغزو الخلية عند اصابتها بالفاج) وتسمى هذه الظاهرة "ظاهرة اقضاء الفيروسات" وهي احدى الطرق التي تحصي بها الخلية نفسها من غزو الفيروسات .

Modification

ظاهرة التعديل :

تلجأ الفيروسات (وحتى الخلايا) الى تعديل حمضها النووي دنأ لحماية مادتها الوراثية من انزيمات الاقضاء الخلوية ، وذلك باحلال قواعد نيتروجينية غير عادية محل القواعد النيتروجينية العادية في الحمض النووي دنأ ، فبعض سلالات البكتيريا تلجأ لادخال مجموعات ميثيل Methylation على بعض القواعد النيتروجينية بها كطريقة لحماية نفسها من انزيمات الاقضاء التي تنتجها بحيث لا تستطيع انزيمات الاقضاء الارتباط مع أماكن ارتباطها Binding site على الحمض النووي دنأ نتيجة وجود القواعد النيتروجينية المعدلة . وتحدث عملية اضافة مجموعات الميثيل هذه بواسطة انزيمات خلوية ، وكثيرا ما تحدث نفس الظاهرة للمادة الوراثية الفيروسية للفاجات عند غزوها

للبكتيريا فتكتسب الفاجات القدرة على التضاعف نتيجة تعديل مادتها الوراثية بواسطة الانزيمات الخلوية .

وهاتان الظاهرتان (ظاهرتا الاقصاء والتعديل) معروفتان من قديم الزمان وخاصة في فاجات لامدا (λ) حيث أن مرور الفاج في أحد سلالات خلايا العائل الى سلالة أخرى مخالفة يؤدي الى نقص كبير في كفاءة هذا الفاج على احداث بلاكات عند زرعه على السلالة الأخيرة ... وعند الحصول على سلالات فاج تحدث بلاكات بكفاءة عالية على السلالة الأخيرة ، ثم إعادة زرعه على السلالة الأولى يحدث نقصا كبيرا في سلالة الفاج الأخيرة على سلالة البكتيريا الأولى .

ويمكن توضيح ذلك بنتائج التجربة الموضحة في الجدول (١٦-١). فهذا الجدول يوضح أن فيروسات فاج لامدا (λ) الناتجة أثناء التضاعف على بكتيريا القولون E. coli سلالة ك ١٢ (K12) تتضاعف بكفاءة قدرها واحد (بمعنى أن كل جسيم فيروسي يحدث إصابة ضارية ، وبالتالي ينتج بلاك ، أما كفاءة مقدارها 10×10^{-4} فهي تعني أن كل جسيم فيروسي واحد من بين كل عشرة آلاف جسيم يستطيع احداث إصابة ضارية بلاك .

جدول ١٦ : ١ : كفاءة فاج لامدا لتكوين البلاكات على سلالات بكتيريا مختلفة

كفاءة احداث البلاكات على		الخلية العائل التي تكون عليها الفاج
<u>E. coli</u> B	<u>E. coli</u> K12	
10×10^{-4} واحد	واحد 10×10^{-4}	<u>E. coli</u> K 12 <u>E. coli</u> B

وعند حقن هذه الفيروسات الجديدة على بكتيريا القولون *E. coli* سلالة بي (B) فان كفاءته تنخفض الى 10^{-1} والعكس صحيح ... فمثلا نجد أن فيروسات لامدا التي تم انتاجها على سلالة بي (B) عند حقنها على سلالة ك ١٢ تنخفض كفاءتها من واحد الى 10^{-1} ، ومعنى آخر يمكن القول أن جسيمات أى فاج يمكنها بنجاح اصابة خلايا نفس سلالة البكتيريا الناتجة منها بنفس الكفاءة ، ولكن اذا كان الفاج ناتج من سلالة بكتيرية مختلفة عن الخلية المصابة ، فان ٩٩٪ من جسيمات الفاج لا تنتج بلاكات ، ويرجع ذلك لوجود انزيمات (اقصاص) محللة للأحماض النووية Endonucleases تقوم بتحليل الحمض النووي الغريب Foreign DNA (الذى تم تكوينه فى سلالة بكتيرية مختلفة تسم حقه فى الخلية المصابة) وتسمى هذه الظاهرة بظاهرة الاقصاء Restriction .

وفى المقابل من ذلك ، توجد الظاهرة الأخرى المعروفة باسم ظاهرة التعديل Modification حيث تستطيع بعض الفيروسات احوال قواعد نيتروجينية مختلفة عن القواعد النيتروجينية العادية ، وبذلك يصبح حمضها النووى د ن أ مقاوم للتحلل بواسطة انزيمات الاقصاء ، فتستطيع الفاجات لامدا الناتجة من سلالة البكتيريا (B) التضاعف بكفاءة عالية على بكتيريا جديدة من سلالة (B) نتيجة لتعديل حمضها النووى .

٢ - تضاعف الفاجات المحتوية على الحمض النووى د ن أ حلقى مفرد السلسلة

تحتوى جسيمات هذه الفيروسات على حمض DNA حلقى مفرد السلسلة صغير جدا (بالنسبة للفيروسات الأخرى مثل فيروسات تنى ذات الأرقام المزدوجة T even) فيحتوى الحمض النووى د ن أ لفيروس فسأى . اكس ١٧٤ (174×10^6) على ٥٤٠٠ قاعدة نيتروجينية فقط تمثّل ٩ جينات . وقد تم بالفعل معرفة ترتيب هذه القواعد بالكامل فى هذا الفيروس وهو من الفيروسات متعددة الأوجه .

ومن أمثلة الفيروسات الخيطية التابعة لهذه المجموعة فيروس أف - ١ (f1) وهو يحتوى على حوالى ٦٤٠٠ قاعدة نيتروجينية تمثّل ثمانية جينات ، والملاحظ أن عدد الجينات على الأحماض النووية دن أ - DNA لهذه الفيروسات تنتج بروتينات تقوم بنفس الوظائف . كما يلاحظ أيضا أن هذه الفيروسات لا توقف بناء المكونات الخلوية عند وصول الحمض النووى الفيروسى الى داخل الخلية ، كما سبق الاشارة اليه فى الفيروسات المحتوية على حمض دن أ DNA المزدوج السلسلة .

ومما سبق ذكره ... يمكن تقسيم فاجات دن أ الحلقى مفرد السلسلة الى قسمين أساسيين هما :

أ - عديد الأوجه : Icosahedral :

مثل فاج فـ ١ . فـ ٢ . اكس ١٧٤ (174 X Ø) وفاج جـ ٤ (G 4) .

ب - خيطية : Filamentous :

مثل فاج اف - ١ (f1) وفاج ام ١٣ (M13)

ولقد كانت الفاجات المحتوية على حمض دن أ وحيد السلسلة المذكورة أداة هامة فى دراسة تضاعف حمض دن أ DNA لأن تضاعف حمض دن أ DNA فى هذه الفيروسات يعتمد اعتمادا كليا على الانزيمات الخلوية التى تقوم بمضاعفة حمض دن أ DNA الخلوى .

مراحل تضاعف الفاجات ذات الحمض النووى دن أ الحلقى وحيد السلسلة :

ويمكن تقسيم دورة التضاعف لهذه الفاجات الى ثلاثة مراحل أساسية :

أولا : إصابة الخلايا Cell infection

ثانيا : تضاعف حمض دن أ DNA الفيروسي :

أ - تكوين السلسلة المكملة (تكوين حمض دن أ مزدوج السلسلة)
Parental RF .

ب - تضاعف الحمض النووي البنوي مزدوج السلسلة لتكوين Progan RF

ج - تكوين السلسلة المفردة من الحمض النووي البنوي مزدوج السلسلة .

ثالثا : اكتمال تكوين الفيروسات وتحررها .

وفيما يلي نعرض هذه المراحل بالتفصيل ...

أولا : الإصابة : Infection :

تعتمد الإصابة بهذه الفيروسات للخلايا المائل على بروتين يسمى البروتين الموجه أو القائد Pilot protein وهذا البروتين الموجه يوجد في أماكن معينة من المحفظة . فمثلا في حالة فاج فاي . أكسس ١٧٤ (174 X Ø) يوجد هذا البروتين على الأركان الاثنى عشر للجسيم المتعدد الأوجه ، أما في حالة الفاج الخيطي ام ١٣ (M13) فإنه يوجد عند أحد نهايتي الفيرون الخيطي ، والذي يمتز على الطرف البعيد للزوائد الجنسية Sex pili للخلايا البكتيرية المذكورة . وهذا البروتين له عدة وظائف حيوية للفاج ، والوظائف التي يؤديها هذا البروتين لا علاقة لها ببعضها ، ويمكن تلخيص الوظائف التي يقوم بها هذا البروتين فيما يلي :-

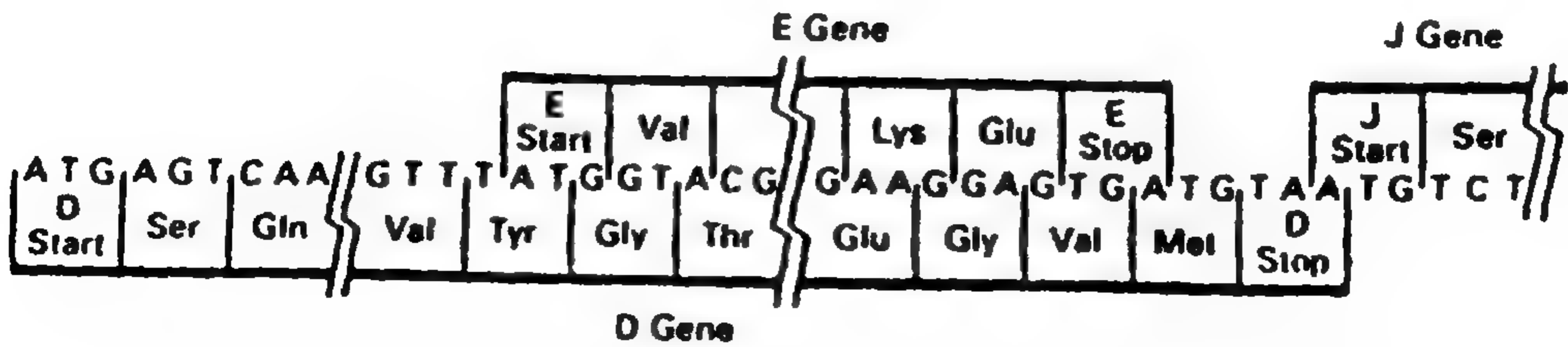
(١) يسبب امتزاز الفيرون على مواقع الامتزاز Receptors الخاصة به على سطح الخلية المائل .

(٢) بعد حدوث تغيرات تركيبية Conformational changes في البروتين المذكور فإنه يوجه الحمض النووي دن أ DNA الى داخل الخلية المائل .

(٣) يسبب البدء في تضاعف الحمض النووي دن أ الفيروسي . ويكون ذلك عن طريق ربط دن أ الفيروسي الى موقع تضاعف دن أ الخلوي والموجود في مكان محدد من الغشاء الخلوي .

(٤) هذا البروتين هام لتكوين جسيمات الفيرون الكاملة Morphogenesis . ومشاركة هذا البروتين في عدد من الوظائف الحيوية الهامة للفاج يعطى مثالا واضحا على استخدام المعلومات الوراثية بطريقة اقتصادية Genetic economy ، فنظرا لتناهي صغر الحمض النووي دن أ الحامل للمعلومات الوراثية للفاج كان لابد من الاستعمال الاقتصادي للمعلومات الوراثية القليلة بأقصى استفادة منها .

وأحد طرق زيادة الاستفادة من هذه المعلومات الوراثية الفيروسية هي استعمال بروتين واحد في عدة استعمالات مختلفة ، وكذلك يوجد مثال واضح آخر على الاستعمال الاقتصادي للمعلومات الوراثية الفيروسية القليلة لهذا الفاج ، وهو وقوع أجزاء من الجينات (المورثات) genes المختلفة فوق بعضها ، بمعنى أن نفس الجزء من الحمض النووي دن أ - الفيروسي يشترك في أكثر من جين gene شكل (١٦-٨) وراثي ، أي انه يوجد ما يعرف بتداخل الجينات overlapping المختلفة لهذا الفاج .



شكل ١٦-٨ : تركيب الجينات على المادة الوراثية لفاج فاي - اكس ١٧٤. جين (E) مطلوب لتحليل الخلايا المائل يقع داخل جين (D) مطلوب لتجميع جسيمات الفيرونات وبذلك فان ترتيب القواعد النيتروجينية نفسه يسهم في انتاج نوعين مختلفين من البروتينات .

وقد سبق الإشارة الى أن هذا البروتين يوجد عند أحد نهايتى الفيرونات الخيطية . ومعظم الفيرونات الخيطية تمتاز عند الطرف البعيد للزوائد الجنسية sex pili فى الخلايا البكتيرية المذكورة ، ويتم ادخال الحمض النووى دن أ DNA الفيروسى الى داخل الخلية ، بينما يدمج بروتين المحفظة (الكابسيد الفيروسى) مع الغشاء الخلوى ليعاد استعماله فيما بعد عند تحرر الفيرونات الجديدة من الخلية المصابة .

ثانيا : تضاعف الحمض النووى دن أ الفيروسى

: Viral DNA replication

يتضاعف الحمض النووى الفيروسى فى ثلاثة مراحل هى :

١- تكوين السلسلة المكملة : Complementary Strand

تسمى سلسلة الحمض النووى دن أ المفردة التى توجد داخل جزيئات الفيرونات الكاملة بالسلسلة الموجبة Plus strand ، وعند دخولها الى سيتوبلازم الخلية العائل ، تكون أول خطوة هى تكوين السلسلة المكملة لها ، وتسمى السلسلة السالبة minus strand وجزئى " دن أ المزدوج السلسلة الناتج يسمى " الصورة الأيوية المتضاعفة " Parental replicative form ، وكثيرا ما يرمز لها بالرمز آر . اف (Rf) .

ويتم تكوين السلسلة السالبة بواسطة انزيمات الخلية العائل .

ويبدأ تكوين السلسلة السالبة بتكوين قطعة صغيرة من الحمض النووى رن أ RNA عند أصل ثابت على السلسلة الموجبة للحمض النووى الفيروسى دن أ الحلقي وحيد السلسلة ثم تبدأ بلمرة السلسلة السالبة من الحمض النووى دن أ حتى يتم اكمال حلقة الحمض النووى المزدوج - السلسلة ، فتزال قطعة الحمض النووى رن أ RNA ، وتستبدل بقطعة حمض نووى مكملة للسلسلة الموجبة فى هذا الموقع ، ثم تغلق السلسلة

السالبة بواسطة انزيم خاص . وتتم كل هذه العمليات بواسطة انزيمات الخلية العائل .

تسمى جزيئات الحمض النووي دن أ المزدوج السلسلة الناتج بالصورة الأبوية المتضاعفة Parental RF كما سبق الاشارة آنفياً . وبعد ذلك يبدأ تكوين الحمض النووي الريبوزي المرسال m-RNA من السلسلة الموجبة والتي يتم ترجمتها الى بروتينات فيروسية .

٢- تضاعف النسخ الأبوية المتضاعفة Parental RF للحمض

النووي دن أ لانتاج النسخ البنوية المتضاعفة Progan RF :

تضاعف النسخ الأبوية المتضاعفة RF للحمض النووي دن أ بواسطة نظام يشبه نموذج الدائرة المتدحرجة السابق الاشارة اليه ، الى أن يتم تكوين عدد كافى من هذه النسخ المزدوجة السلسلة البنوية Progan RFs داخل الخلية ، فعلى سبيل المثال فى حالة فاج فاى - اكس ١٧٤ (Ø X174) يتكون ١٠ الى ٢٠ نسخة من النسخ المزدوجة السلسلة البنوية Progan RFs ، أما فى حالة الفاج الخيطى اف - ١ (f1) فانه يتكون من ١٠٠ - ٢٠٠ نسخة من هذه النسخ البنوية المزدوجة السلسلة .

يبدأ التضاعف للنسخ الأبوية Parental RF للحمض النووي المزدوج السلسلة بعمل فتحة فى احدى سلسلتى الحمض النووي دن أ - المزدوج السلسلة بواسطة انزيم فيروسى Viral endonuclease (وهو البروتين الموجه Pilot protein) عند موقع محدد من نسخ ال RF ثم يرتبط هذا الانزيم الفيروسي بالطرف الذى يحتوى على مجموعة الفوسفات على ذرات الكربون الخامسة 5-end فى سلسلة الحمض النووى المفتوحة . ثم يتحرك هذا الانزيم الفيروسي على طول السلسلة السالبة ويقطع جزيئات الحمض النووي دن أ على مسافات ينتج جزيئات دن أ تحتوى على معلومات فيروسية كاملة ، ويعمل نفس الانزيم الفيروسي هذا على تكوين الرابطة بين طرفى الحمض النووى المستقيم ليكـون بذلك حلقات من الحمض النووى دن أ مفرد السلسلة .

٣- تكوين السلسلة المفردة الفيروسية من النسخ المتضاعفة البنوية للحمض النووي دن أ Proganly RFs المزدوجة السلسلة

سبق الإشارة في الخطوة السابقة الى أن السلسلة السالبة تظسل حلقية ويتحرك عليها انزيم فيروسى endonuclease ليقطع السلاسل الموجبة عند نقطة محددة ، ثم يقوم بربط نهايتى السلاسل الموجبة الناتجة مكونا جزئيات دن أ وحيدة السلسلة الحلقية .

وبذلك تعمل السلسلة السالبة كما لو كانت خاتما يطبع نسخ من السلسلة الموجبة بمساعدة الانزيم الفيروسي المذكور .

وبالرغم من تشابه معظم الفيروسات المحتوية على الحمض النووي دن أ حلقى وحيد السلسلة في طريقة تضاعف الحمض النووي ، الا أنه توجد اختلافات بسيطة جدا فيما بينها لا نشير اليها هنا .

ثالثا : اكتمال تكوين الفيريونات وتحررها :

Morphogenesis and Release of virions

توجد اختلافات واضحة في هذه الخطوة الأخيرة لتكوين فيريونات كاملة وتحررها بين الفيروسات متعددة الأوجه والفيروسات الخيطية .
وكمثال على الفيروسات متعددة الأوجه مثل فيروس فاي - اكس ١٧٤ ØX174 174 يلاحظ أن اكتمال تكوين الفيريونات يتم جنبا الى جنب مع تضاعف الحمض النووي الفيروسي ، فكلما اكتمل تكوين حلقة وحيدة السلسلة فانها سريعا ما ترتبط ببروتينات المحفظة التي تكون قد تم تكوينها في الخلية . ولذلك فان حدوث طفرة تعطل بناء أيا من بروتينات المحفظة تعطل تضاعف الحمض النووي الفيروسي ولا تتكون أي فيريونات ، ويتم تحرر الفيريونات الجديدة في النهاية بانفجار الخلايا Cell lysis .

أما الفيروسات الخيطية ، فلا تتفجر فيها الخلايا العائل ، كما أن اكتمال تكوين الفيرونات يسلك سبيلا آخر . فعند تكوين حلقات الحمض النووي الفيروسي وحيد السلسلة فإن هذه الحلقات ترتبط ببروتين فيروسي خاص لتكوين مركب معقد من البروتين - دن أ ، وهذا المركب المعقد يصل الى السطح الداخلى للغشاء الخلوى للخلية العائل . وهذا الغشاء الخلوى يحتوى على بروتينات المحفظة التى تركت عند غزو الفيروس الأصل للخلية علاوة على بروتينات محفظة (جديدة) تم تكوينها أثناء تضاعف دن أ الفيروسي . وعند وصول المركب المعقد (بروتين - دن أ) الى السطح الداخلى للغشاء الخلوى ، فإنه يلتقط وحدات بروتين المحفظة القديمة والجديدة لتكوين المحفظة أثناء مروره من الغشاء الخلوى الى الخارج . وتستطيع جسيمات الفيرون الخيطية المرور من الغشاء الخلوى نتيجة تفاعلات مترنة معقدة بين بروتينات المحفظة وبروتينات الغشاء الخلوى . لذلك فإن نشاطات التمثيل الغذائى والنمو الخلوى لا تتأثر بالرغم من أن حوالى ١٠٠٠ فيريون خيطى يمكن افرازها من الخلية خلال جيل واحد . ولكن الطفرات التى تؤثر على انتاج البروتينات الفيروسية قد تقتل الخلية العائل . وهذه العلاقة الثابتة بين الفيروس والخلية العائل تشبه ما يحدث فى بعض الفيروسات الحيوانية.

٣- تضاعف الفاجات المحتوية على دهون:

تحتوى بعض الفاجات على الدهون ، مما يجعلها أداة هامة لدراسة تداخل البروتينات والدهون فى تكوين الأغشية البيولوجية . وأكثر هذه الفاجات دراسة هى فاج بي ام ٢ PM2 وهو فاج متعدد الأوجه يحتوى على الحمض النووى دن أ DNA مزدوج السلسلة حلقى مكون من حوالى ٩٠٠٠ قاعدة نيتروجينية . وتحتوى المحفظة على طبقة دهنية ذات سطحين محصورة بين طبقتين من البروتين ذو الشكل المتعدد الأوجه Icosahedral .

ومن الملاحظات الغريبة وجود اختلاف كبير بين تركيب الفوسفوليبيد فى الفيروس عن مثيله فى الغشاء الخلوى للخلايا العائل بالرغم من أن كلا

النوعين من الفوسفوليبيد يتم تكوينهما بواسطة الخلايا العائل . وفيما يبدو أن فوسفوليبيد الفيروس يتم انتقاءها من بين فوسفوليبيدات الخلية بواسطة بروتينات المحفظة .

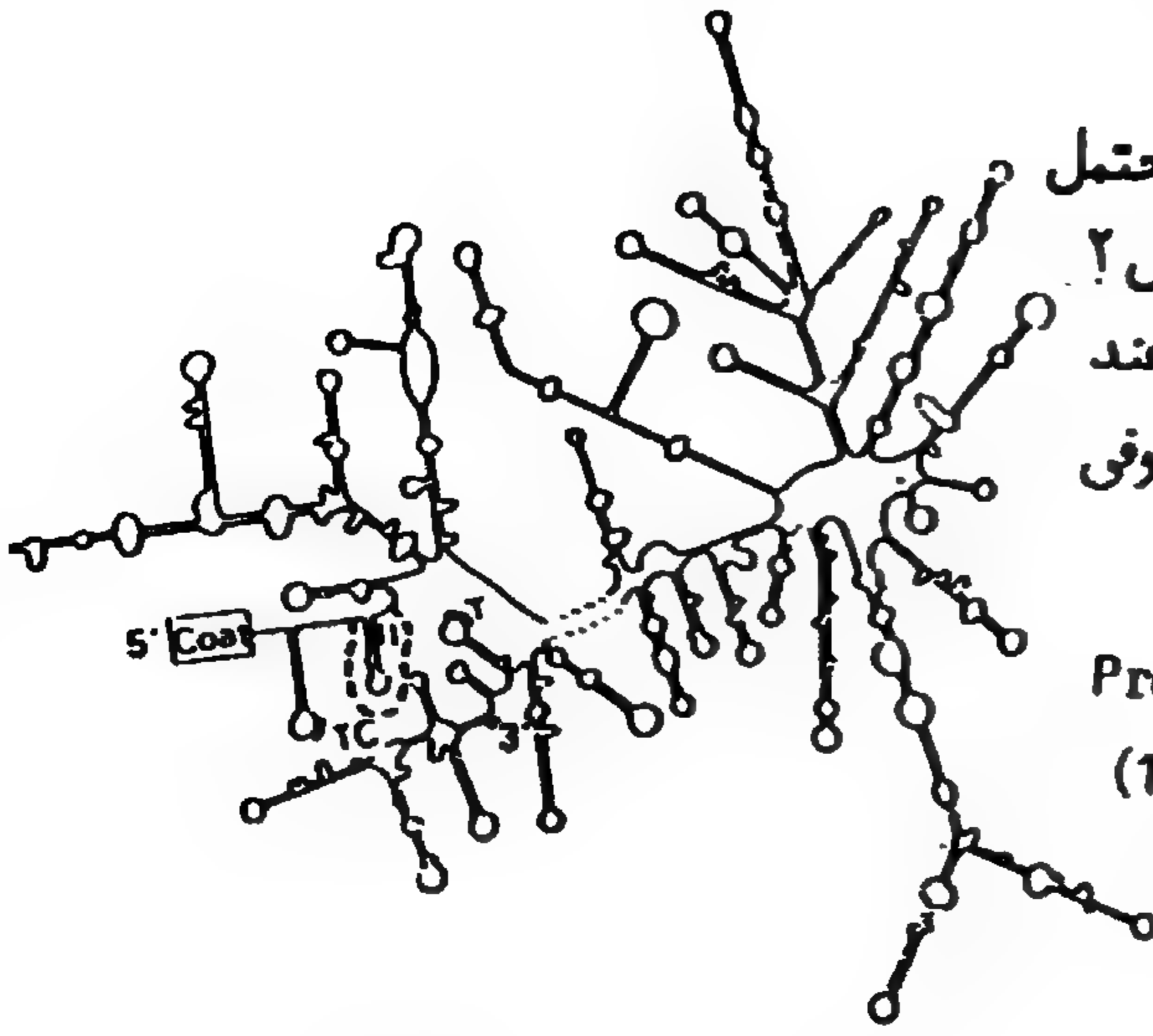
وتتم خطوات التضاعف في هذه الفيروسات مثل ما سبق ذكره ...

٤- تضاعف الفاجات المحتوية على الحمض النووي رن أ :

عزلت الفاجات متعددة الأوجه الصغيرة بواسطة زندر Zinder ، وسميت حينذاك باسم الفاجات المتخصصة للذكور Male-specific phages . ذلك أن هذه الفاجات كانت تمتاز على الزوائد الجنسية Sex pili لخلايا البكتيريا المذكرة ، ويبدو أن هذه الفاجات تستعمل هذه الزوائد الجنسية كقنوات لحقن حمضها النووي رن أ RNA داخل الخلية . وتنقسم هذه الفاجات الى عدة مجاميع وفقا لترتيب القواعد النيتروجينية فيها وخواصها السيولوجية ... فمثلا توضع فاجات اف - ٢ (f2) ، ام اس - ٢ (MS2) ، ار ١٧ (R17) في مجموعة واحدة ، وفاج كيو - بيتا (QB) في مجموعة ثانية ، وتحتوى جميع هذه الفيروسات على جزيء رن أ RNA وحيد السلسلة في حدود حوالى ٣٥٠٠ قاعدة نيتروجينية . وبعض هذه الفاجات قد أمكن التوصل الى ترتيب القواعد النيتروجينية فيه مثل فاج ام اس - ٢ (MS2) ، ومن دراسة ترتيب القواعد في مثل هذا الفيروس أمكن التعرف على وجود أجزاء متعددة من الحمض النووي رن أ يمكنها تكوين سلاسل مزدوجة .

لذلك ، فمثل هذه الفاجات لديها القدرة على تكوين تركيب ثانوى معقد Secondary و تركيب ثالث أكثر تعقيدا Tertiary structure كما فى الشكل (١٦-٩) .

والتركيبية الوراثة لهذه الفيروسات هى أبسط تركيبية وراثية بين جميع الفيروسات ولا يحتوى حمضها النووي على أكثر من ثلاث جينات ،



شكل ١٦-٩ : التركيب الثانوي المحتمل
للحمض النووي رنأ الفيروسي لفاج ام اس ٢
(MS2) جين الريبليكااز هو الموجود عند
3'end وجين بروتين المحفظة عند 5'end وفي
الوسط جين البروموتر.

Proc - Nat. Acad. Sci (USA) 70:2605
(1973)

أى لا يمكن تكوين أكثر من ثلاث بروتينات وهم بالترتيب (من اتجاه مجموعة
الفوسفات على ذرة الكربون رقم ٥ في الريبوز الى مجموعة الفوسفات على
ذرة الكربون رقم ٣ في الريبوز 5'→3' sequence) ...

١- بروتين أ A protein ، وهو بروتين له وظائف عديدة ، كما
في حالة البروتين الموجه الذى تنتجه فاجات دنأ DNA الوحيدة
السلسلة الحلقية السابق مناقشتها .

٢- البروموتر promoter لبروتين المحفظة . وهو البروتين الذى
يكون الغطاء البروتينى لجسيمات الفيروسات الكاملة .

٣- أنزيم الريبليكااز الفيروسي Viral special replicase

وهذا الأخير عبارة عن أنزيم خاص يقوم ببناء حمض نووى رنأ RNA
منسوخا من جزيء رنأ الفيروسي . ويسمى هذا الانزيم RNA dependent
RNA polymerase وذلك لاختلاف العملية التى يقوم بها عن ما يحدث
فى سائر الأحياء الأخرى . ففى سائر الأحياء الأخرى يتكون حمض نووى
رنأ RNA بالنسخ من جزيئات دنأ DNA (وليس من جزيئات رنأ
RNA) بفعل انزيم RNA dependent RNA polymerase وأنزيم الريبليكااز
المذكور لا يضاعف رنأ RNA الخلوى ، ولذلك فهو انزيم على درجة
عالية من التخصص ، ويمكنه التمييز بين رنأ الفيروسي عن ذلك الخلوى .

والحمض النووي رن أ RNA الفيروسي في هذه الحالة يلعب دورين أساسيين في نفس الوقت ، فهو يعمل أساسا كمادة وراثية genome وكذلك كحمض نووي ريبوزي مرسال messenger RNA يمكن ترجمة المعلومات الموجودة عليه بواسطة الريبوسومات لانتاج البروتينات الفيروسية داخل الخلية . ولهذا السبب الأخير كانت هذه الفيروسات هامة جدا في دراسة بناء البروتينات خارج الخلايا In vitro . فمعرفة ترتيب القواعد النيتروجينية في بعض هذه الفيروسات مكن العلماء من دراسة أماكن ارتباط الريبوسومات بالحمض النووي رن أ المرسال وأماكن بداية ونهاية الجينات . وأهمية التراكيب الثانوية ل رن أ في تنظيم عمليات بناء البروتين في الخلايا .

تضاعف الحمض النووي رن أ الفيروسي RNA replication

يتضاعف رن أ لفاجات رن أ بطريقة مماثلة لما يحدث في بعض الفيروسات الحيوانية Animal viruses المحتوية على رن أ أيضا . وفي كلا الحالتين تمر خطوات التضاعف بمراحل وسطية هي :

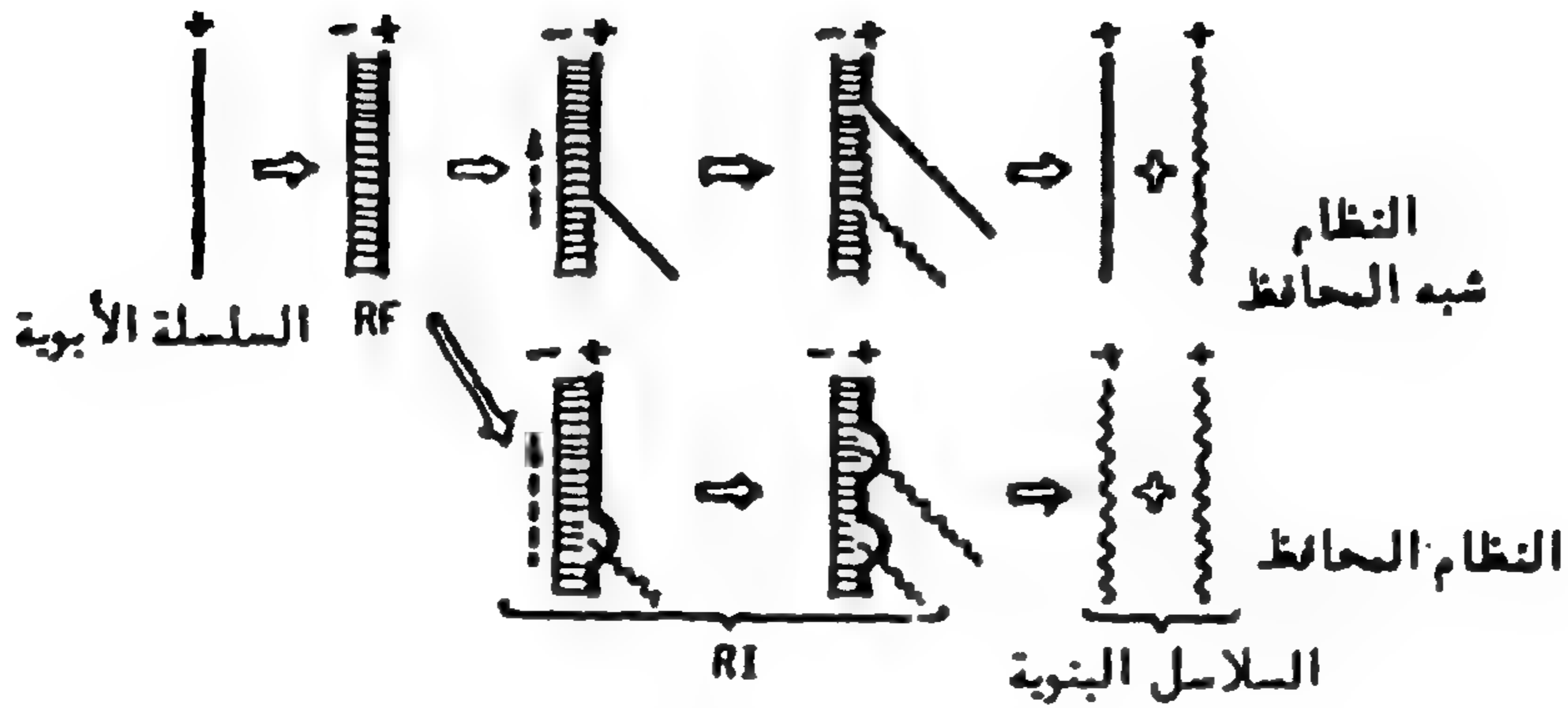
أ- النسخ المتضاعفة : Replicative Intermediate (RF)

وهي جزيئات رن أ مزدوج السلسلة تشبه الى حد كبير مركبات (RF) التي تتكون عند غزو الخلايا بواسطة فيروسات رن أ وحيد السلسلة، وهذه الجزيئات مقاومة تماما لفعل الانزيم المحلل للحمض النووي رن أ RNase وحيد السلسلة .

ب- المتضاعفة الوسطية Replicative Intermediate (RI)

وهي عبارة عن جزيئات رن أ مزدوجة السلسلة ، ولكن لها طرف أو أكثر عبارة عن سلسلة رن أ وحيدة السلسلة . لذلك فهذه المتضاعفة الوسطية تتحلل تحللا جزئيا بفعل الانزيم المحلل للحمض النووي رن أ - RNase- وحيد السلسلة .

وعندما يدخل الحمض النووي رنأ (السلسلة الموجبة) الى الخلية ، فانه يتحول الى النسخ المتضاعفة (RF) ببناء السلاسل السالبة Minus strand . وتحول النسخ المتضاعفة (RF) الى المتضاعفة الوسطية (RI) لتنتج في النهاية جزئيات رنأ وحيدة السلسلة والموجبة وفقا لواحد من النظامين الموضحين في الشكل (١٠-١٦) .



شكل ١٠-١٦ : المراحل الوسطية في تضاعف الحمض النووي رنأ لفيروسات رنأ بالنظامين شبه المحافظ والمحافظ .

النظام الأول : النظام شبه المحافظ Semi conservative

تتكون النسخ المتضاعفة (RF) بتكوين السلسلة السالبة المكملية للسلسلة الفيروسيية (الموجبة) ثم يحدث شبه انفصال للسلسلة الموجبة عن السلسلة السالبة مكونا المتضاعفة الوسطية RI . ثم يتكون على السلسلة السالبة المنفصلة جزئيا عن رفيقتها العديد من السلاسل الموجبة (الفيروسيية) .

النظام الثاني : النظام المحافظ Conservative

بعد تكون النسخ المتضاعفة (RF) لا تنفصل السلسلتين عن

بعضهما الا في اماكن تكون السلاسل الموجية ، وتكون بذلك المركبات المتضاعفة الوسطية RI أكثر مقاومة للانزيم المحلل للحمض النووي رن أ — المفرد السلسلة RNase .

وهناك تنسيق كامل لانتاج البروتينات الثلاثة مع تضاعف الحمض النووي الفيروسي رن أ فينتج كميات كبيرة من بروتينات المحفظة وكميات محددة من الريبليكاز RNA Replicase وجزئ واحد من بروتين A protein لكل جزئ RNA فيروس. وبعد تركيب الفيروسمات الجديدة يتم تحررها بانفجار الخلايا .

الفصل السابع عشر

الفيروسات البكتيرية المعتدلة

Temperate Bacterial Viruses

واكساب البكتيريا القدرة الكامنة على التحلل

Lysogeny

كما ذكرنا سابقا ، أن الفاجات يمكن تقسيمها عموما الى قسمين :
القسم الأول هو الفاجات الضارية virulent phages وهذه
الفيروسات تسيطر على نشاط الخلية وتوجهها لبناء مكونات الفيروس
بمجرد غزوها للخلايا ، وتبدأ مباشرة في دورة التحلل Lytic cycle .
وأثناء قيام الفاج بمضاعفة نفسه داخل الخلية يعرف باسم الفاج الخصري
Vegetative Phage الى أن يتم تكوين فيروسات كاملة تتحرر بانفجار
الخلايا العائل .

أما القسم الثاني من الفاجات فهو يشمل الفاجات المعتدلة
Temperate Phages وهذه الأخيرة ولو أن لها القدرة على تحليل
الخلايا العائل أيضا ... الا أنها أحيانا لا تكون اصابتها ضارية . بل
أن الحمض النووي الفيروسي على العكس من ذلك يخضع لسيطرة الخلية
ويظل كامنا ، ويسمى في هذه الحالة الفاج الأولي Prophage وتظل
الخلية تعمل بصورة عادية تماما . الا أن هذه الخلية التي تم غزوها
بأحد الفيروسات المعتدلة تكتسب القدرة الكامنة على التحلل (لا يسوجنى
Lysogeny) أى تصبح الخلية ذات قدرة كامنة على التحلل
(لا يسوجينيك) ، وترجع هذه القدرة الكامنة على التحلل الى امكانية
تحول الحمض النووي الفيروسي الكامن المسمى فاج أولي الى الحالة
الخضرية (فاج خصرى) ، والقدرة الكامنة على التحلل Lysogenic
بتحول الفاجات الى حالة الفاج الأولي تعتبر طريقة هامة لحفظ النوع
في الفيروسات ، لذلك فان أهمية الفيروسات المعتدلة في حفظ النوع
تتجاوز الفيروسات الضارية - كما ذكر برنت Burnet عام ١٩٢٩ حيث
أن اصابة الأحياء الراقية بالفيروسات الضارية سيؤدي الى اهلاك هذه

الأحياء الراقية ، مما يؤدي الى عدم توفر الكائنات العائل لتلك الفيروسات بعد فترة زمنية .

أما الفيروسات المعتدلة فانها يمكنها المعيشة والانتشار فسي صورة فيروسات أولية Pro-virus وحفظ نوعها مع الكائنات العائل .

وعلى ذلك ... عندما تغزو جسيمات الفاج المعتدلة Temprate phage خلية عائل مناسبة ، فان المادة الوراثية الفيروسية تدخل في احدى دورتين هما :

(١) اما أن تدخل دورة التحلل Lytic cycle ويتحول الفاج الى الحالة الخضرية vegetative state ويتضاعف لينتج العديد من الفيرونات الكاملة ، وتنتهى هذه الدورة بتحلل الخلايا Cell lysis وتحرر الفيرونات .

(٢) واما أن تدخل الفيروسات دورة كمون التحلل او القسدة الكامنة على التحلل Lysogenic cycle وفيها يتحول الفاج الى فاج أولى ، وعند الانقسام فان كل خلية تحتوى على فاج أولى ، وتكون جميع الخلايا الناتجة عن هذه الخلية محتوية على نسخة من الفاج الأولى ، فتتكون مستعمرة كاملة من خلايا ذات قدرة كامنة على التحلل .

العوامل التي تحدد اتجاه الفاج المعتدل في الخلايا المصابة

عند خلط معلق من جسيمات فاج معتدل Temprate phage مع معلق بكتيريا تصلح كمائل لهذا الفاج بأعداد متساوية بحيث ان كل خلية بكتيرية تصبح مصابة ، فان بعض الخلايا تدخل في دورة التحلل مباشرة وتنتهى بانفجار الخلايا Cell lysis وتحرر فيروناتها الجديدة .

بينما تدخل بعض الخلايا المصابة في الدورة اللايسوجينية (دورة كمون التحلل) وتتحدد نسبة كل نوع من الخلايا (lytic or lysogenic) على ثلاث عوامل أساسية هي :

- ١- الصفات الوراثية للخلايا .
- ٢- الصفات الوراثية للفاج .
- ٣- الظروف البيئية .

وقد أمكن بتغيير هذه العوامل المختلفة تفهم ما يحدث في الخلية عند غزوها بأحد الفاجات المعتدلة .

العمليات التي تتم في الخلايا عند اصابتها بأحد الفاجات المعتدلة :

بعد اجراء العديد من التجارب أمكن التوصل الى ما يحدث في الخلية عند غزوها بأحد الفاجات المعتدلة . ففي كل خلية تم غزوها حديثا تحدث ثلاث عمليات في أوقات متقاربة جدا . وتوقيت هذه العمليات الثلاث هو الذي يحدد ما اذا كانت الخلية ستتجه الى دورة التحلل أو دورة كمون التحلل (الدورة اللايسوجينية) وهذه العمليات الثلاث هي :

(١) يتم نسخ المعلومات الوراثية الفيروسية وترجمتها لانتاج البروتينات المبكرة early proteins وهذه البروتينات المبكرة تشمل جزيئات مثبطة Repressor تثبط مضاعفة المادة الوراثية الفيروسية Viral genome replication كما تثبط نسخ المعلومات الوراثية منه وبالتالي تثبط ترجمتها الى بروتينات .

(٢) يتم تضاعف المادة الوراثية الفيروسية Viral genome replication .

(٣) واحد أو أكثر من المادة الوراثية الفيروسية يتحول الى صورة الفاج الأولى . ويتحدد مصير الخلية المصابة بالفاج المعتدل Temprate phage على نتيجة السباق بين هذه العمليات الثلاث .

فاذا تم تضاعف المادة الوراثية الفيروسية وتم تكوين بروتينات محفظة كافية لتكوين جزيء فيريون واحد أو أكثر ، وتم انتاج انزيم الليسوزايم lysozyme قبل انتاج كمية كافية من جزيئات المثبط Repressor فان الخلية تدخل الدورة المحللة lytic cycle . أما اذا تم انتاج كمية كافية من الجزيئات المثبط (Repressor) قبل تكوين فيريونات كاملة ، فان المادة الوراثية الفيروسية تتحول الى فاج أولى ، وتكتسب الخلية القدرة الكامنة على التحلل (وتصبح الخلية ليسوجينية Lysogenic) .

وفي الخلايا ذات القدرة الكامنة على التحلل Lysogenic cell يستمر الفاج الأولى Prophage في انتاج المثبط Repressor ، وبذلك يمنع الفاج الأولى من التحول الى الحالة الخضرية لان انتاج فيريونات كاملة .

ومن الملاحظ أن جزيئات المثبط لا تمنع مضاعفة جزيء الفاج الأولى المتكامل مع كروموسوم الخلية عند انقسام الكروموسوم تمهيدا لانقسام الخلية ، لذلك فان هناك اعتقادا بأن تضاعف المادة الوراثية لان انتاج فيريونات كاملة لا يتم بنفس خطوات تضاعف الكروموسوم الخلوى تمهيدا لانقسام الخلية .

وعلى أى حال فان هناك نوعين مختلفين من اكساب الخلية القدرة على التحلل (لا يسوجيني Lysogeny) نوضحهما فيما يلي :

أولا : اكساب الخلايا القدرة الكامنة على التحلل من نوع لامدا (λ)

Lambda

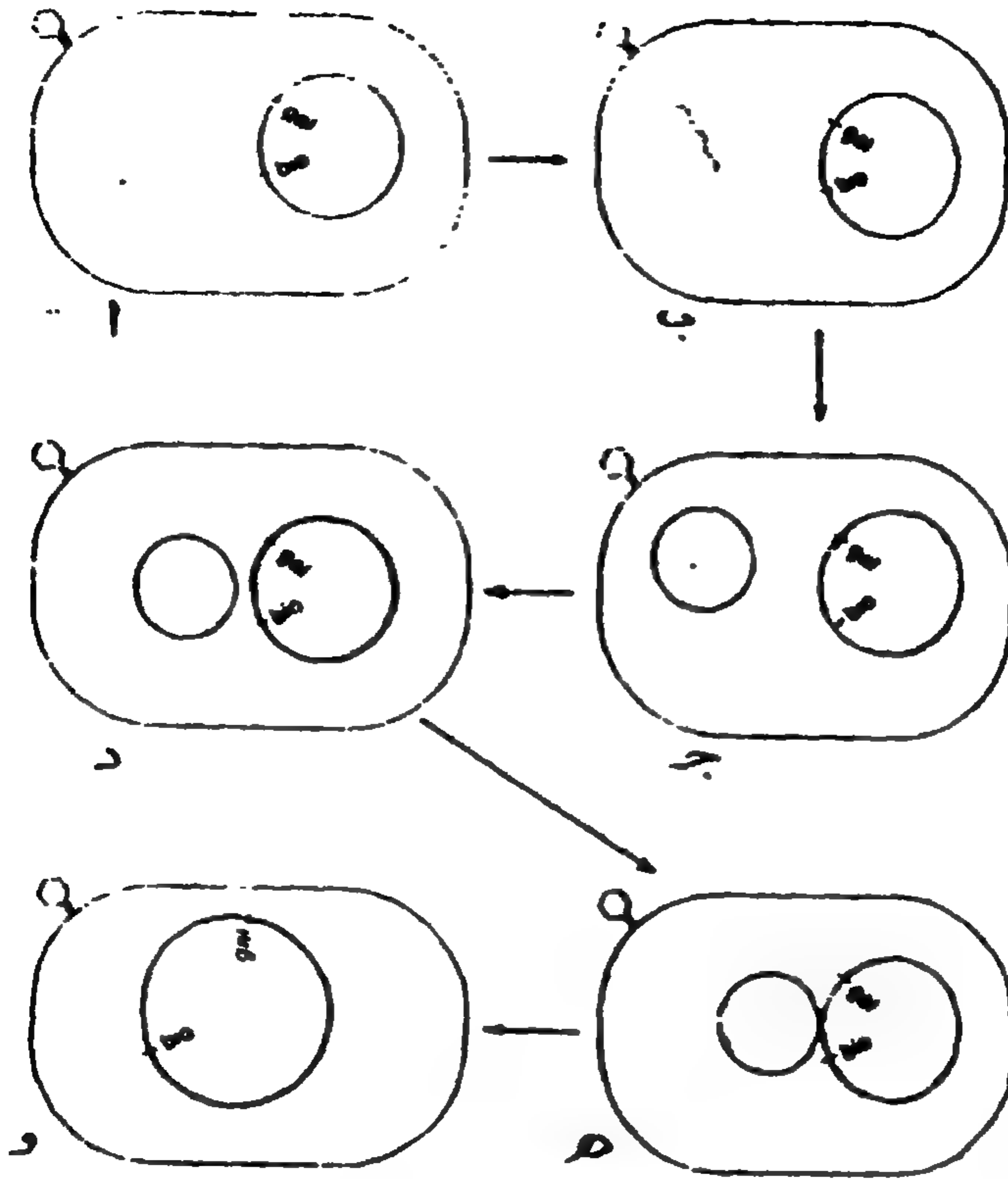
اكتشف فاج لامدا (λ) أولا كفاج أولى فى سلالات لبكتيريا القولون المسماة أشريشا كولاى ك ١٢ *E. coli* K12 . فعند تنمية مزرعة من هذه السلالة (ك ١٢) - K12 فى المختبر يلاحظ أن خلية واحدة من بين كل عشرة آلاف (١٠^٤) خلية تنفجر وينتج عن انفجارها

فريونات لامدا (λ) كاملة . كما أن هناك حدث آخر أكثر ندرة مسمى ذلك ، وهو أن إحدى الخلايا البنيوية المنقسمة لا تتسلم نسخة من الفاج الأولى ، كما في باقى الخلايا الناتجة عن الخلية الأم . وهذه الخليية التى لا تتسلم نسخة من الفاج الأولى تسمى الخلية التى شفيت Cured cell . ويعنى ذلك أن هذه الخلية فقدت القدرة الكامنة على التحلل فأصبحت خلية غير لا يسوجينية Non-lysogenic .

فإذا عزلت هذه الخلية التى شفيت وتم زراعتها ، فإنها تنتج مزرعة خلايا شافية Cured cells . هذه المزرعة يمكن إعادة اصابتها بفاج لامدا . وبالتالي تتحول مرة ثانية الى خلايا ذات قدرة كامنة على التحلل (لايسوجينية lysogenic) ولو كان فاج لامدا المستخدم فى إعادة إصابة هذه الخلايا ذو طفرة معينة ، فإن الخلايا المصابة تصبح ذات قدرة كامنة على التحلل لانتاج فاج لامدا يحتوى على هذه الطفرة بعينها .

مكان الفاج الأولى لامدا (λ) فى الخلية ذات القدرة الكامنة على التحلل

أثبتت العديد من تجارب التزاوج بين البكتيريا غير اللايسوجينية والبكتيريا اللايسوجينية من سلالة بكتيريا القولون ك *E.coli* K12 أن الفاج الأولى لامدا (λ) يتكامل مع كروموسوم الخلية البكتيرية فى موقع محدد بين مورثات جال Gal (وهى المورثات المسئولة عن تمثيل سكر الجلكتوز) وبين مورثات بيو Bio (وهى المورثات المسئولة عن تكوين البيوتين Biotin فى الخلية) وهذا الموقع المحدد تترتب فيه القواعد النيتروجينية بترتيب مماثل للقواعد النيتروجينية على موقع محدد على المادة الوراثية للفاج الأولى لامدا (λ) . ويحدث هذا التكامل نتيجة كسر وإعادة ارتباط Break and reunion بين جزيئى الحمض النووى البكتيرى والفيروسى على صورة خطين متعامدين أو اتصال مزدوج أو العبور الوراثى cross over كما فى الشكل (١٧-١) .



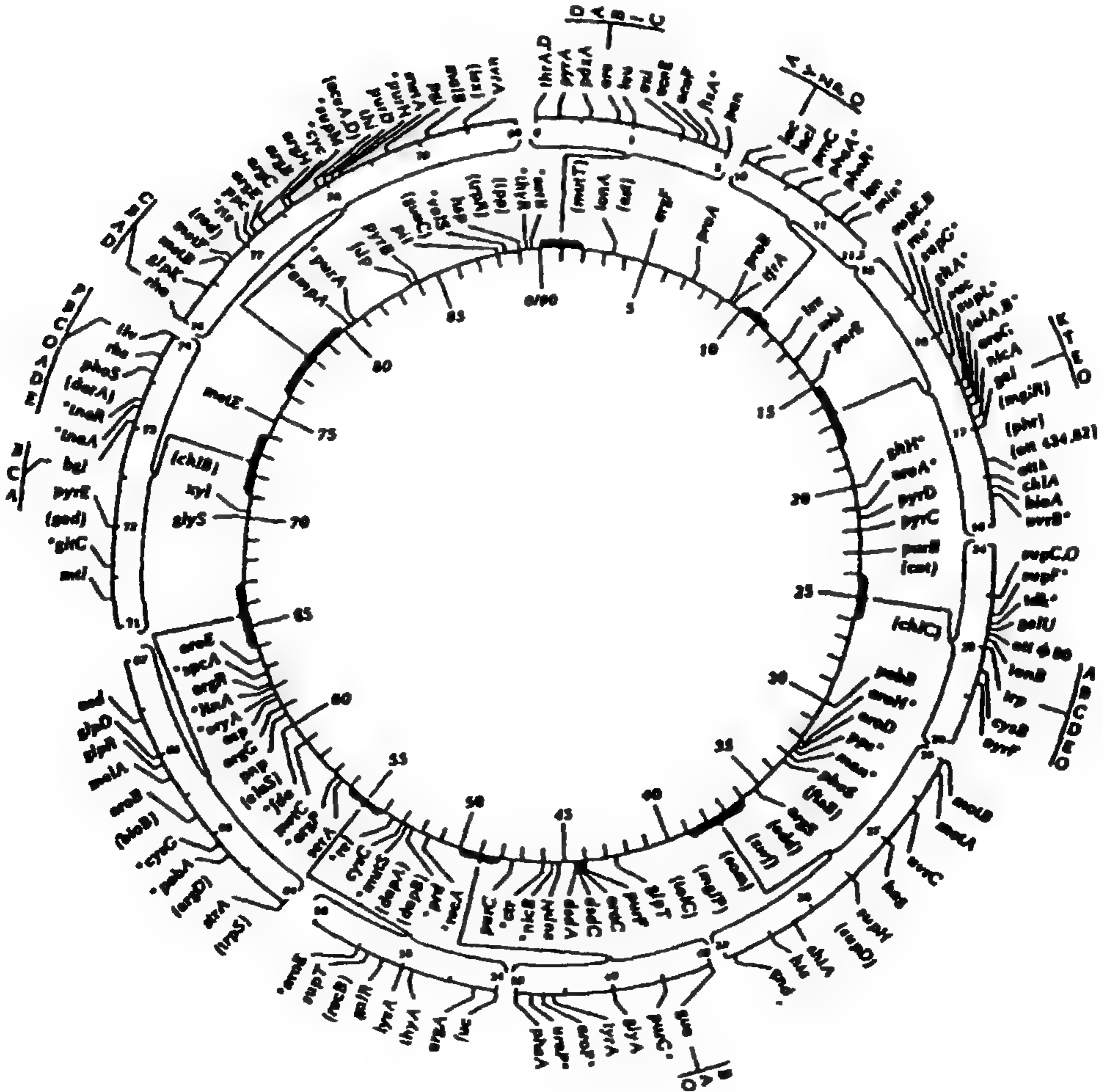
شكل ١٧-١ : خطوات تكوين الفاج الأولي لامدا (λ)

- أ - امتزاز الفاج على الخلية .
- ب - حقن الحضي النووي داخل الخلية .
- ج - تحول الحضي النووي من الصورة المستقيمة الى الصورة الحلقية
- د - انطباق الترتيبات المتماثلة من القواعد في كلا المادتين الوراثيتين
- هـ - كسر وإعادة اتصال الحضين النوويين لكل من الفاج والبكتيريا
- في صورة خطين متعامدين أو اتصال مزدوج (العبور الوراثي Cross-over)
- و - المادتين الوراثيتين للفاج والخلية البكتيرية أصبحتا حلقة واحدة .

لاحظ وجود المادة الوراثية للفاج بين مورثات جال gal ، بيو bio

ومن الفاجات الشبيهة بفاج لامدا (λ) يوجد فاج آخر معروف يسمى فاج فاي ٨٠ ($\phi 80$) وهذا الفاج يتكامل مع الكروموسوم البكتيري في موقع مقارب لموقع المورثات المسئولة عن بناء الحمض الأميني تريتوفان ، ويرمز لهذا الموقع بالرمز trp .

وبعد دراسات وراثية عديدة أمكن وضع خريطة توضح أماكن الجينات (المورثات) على كروموسوم الخلية البكتيرية. والشكل (١٧-٢) يوضح الخريطة الوراثية Genetic map لسلسلة بكتيريا القولون ك ١٢ (*E. coli* K12) وفيها يبدو موقع الفاج لامدا (λ) ونوعين آخرين من الفاجات عند موقع قريب من موقع الدقيقة ٢٠، أما فاج فاي ٨٠ ($\phi 80$) فموقعه عند حوالي الدقيقة ٢٥ تقريبا.



شكل ١٧-٢ : الخريطة الوراثية لبكتيريا القولون *E. coli* K12 والمورثات موضحة بالحروف الثلاثة الأولى منها
عن تايلور وتروتر Taylor and Trotter عام ١٩٧٢م.
Bacteriological Review 36, 504 (1972)

وقد أمكن بعد دراسات عديدة عمل خريطة وراثية للمادة الوراثية لفاج لامدا . ومع أن المادة الوراثية توجد في صورة مستقيمة مفتوحة في جسيم الفاج (الفيريون) ، إلا أن هذه الصورة تتحول الى الصورة الحلقية فور دخولها الخلية المصابة . ويتم التحول الى الصورة الحلقية بفضل وجود قواعد مكملة لبعضها في نهايتي جزيئ DNA الفيروسي . لذلك تسمى هذه النهايات بالنهايات اللاصقة Cohesive ends . (شكل ١٤-١١) .

ثانيا : اكساب الخلايا القدرة الكامنة على التحلل (لايسوجيني) من

نوع بي ١ (P1) :

يختلف هذا النوع من اللايسوجيني عن النوع السابق (نـ نوع لامدا) من زاويتين مختلفتين هامتين هما :

(١) أن جميع تجارب التزاوج وتكوين الخلطات الوراثية Genetic recombination قد فشلت حتى الآن في تحديد موقع محدد للفاج الأولى على الكروموسوم البكتيري .

(٢) أن الفاجات التي تسبب هذا النوع من اللايسوجيني (اكساب الخلايا القدرة الكامنة على التحلل) من نوع بي ١ تنقل الجينات الوراثية البكتيرية بطريقة تختلف تماما عما يحدث في فاج (λ) لامدا . فجزيئات فاج لامدا الناقلة للصفات الوراثية تكون معظم المادة الوراثية فيها هي مادة وراثية فيروسية وقليل من المورثات البكتيرية التي تكون ملاصقة لموقع فاج لامدا (λ) على الكروموسوم البكتيري . أما في جسيمات فاج بي ١ (P1) الناقلة للصفات الوراثية البكتيرية تكون معظم المادة الوراثية فيها أو كلها عبارة عن مادة وراثية بكتيرية . وقد تكون أي قطعة من كروموسوم البكتيريا وليس قطعة بعينها ... لذلك فان جسيمات الفيروس بي ١ (P1) الناقلة للصفات الوراثية Transducing Particle

تستطيع نقل أي من الصفات الوراثية البكتيرية من خلية إلى أخرى بنسب متساوية .

وفيما يبدو أن دن أ الخاص بجسيمات فيروس بي ١ لا تندمج مع كروموسوم الخلية ولكنها تظل في الخلية كوحدة مستقلة بعكس ما يحدث في فاج لامدا حيث يندمج حمضه النووي مع كروموسوم الخلية مكونا حلقة واحدة ، ويعتقد أن دن أ الخاص بفيروس بي ١ يتضاعف نتيجة اتصاله بأماكن في الغشاء الخلوي مثله في ذلك مثل الكروموسوم الخلوي أو جزيئات دن أ الأخرى الموجودة في الخلية مثل الـ Episome أو البلازميدات الأخرى Plasmids . ومن الملفت للنظر أنه قد تم عزل بعض سلالات لامدا غير القادرة على الاندماج مع الكروموسوم . ولذلك فإن تلك السلالات تسلك سلوكا مماثلا لفيروس بي ١ ويتضاعف مستقلا عن الكروموسوم وينقل أي صفة وراثية بنفس الدرجة بغض النظر عن مدى قربها أو بعدها عن موقع اندماج لامدا على الكروموسوم البكتيري .

كمون الفاج وحته Phage Repression and Induction

ان ميكانيكية كمن الفاج Phage repression والتي ينتج عنها عدم دخول الفاج في دورة التحلل وبالتالي اكساب الخلية المصابة القدرة الكامنة على التحلل Lysogenic state قد درست باستفاضة في سلالة بكتيريا القولون المعروفة باسم اشريشيا كولاي ك ١٢ لامدا (λ) E. coli strain K12 . وقد وضع من تلك الدراسة أن المادة الوراثية genome لفاج لامدا (λ) يحتوي على مورث يسمى (مورث سي Gene C₁) وهذا المورث يحمل المعلومات الوراثية اللازمة لبناء بروتين مشبط repressor protein . وهذا المشبط البروتيني ذو قدرة خاصة على الارتباط بموقع استقبال محدد على المادة الوراثية لفاج لامدا (λ) . وعند ارتباط المشبط مع موقع الاستقبال receptor site فان الحمض النووي دن أ الفيروسي لا يتضاعف بنفسه ولا تتم ترجمة المعلومات فيه الى بروتينات . ومن الملاحظ أن هذا المشبط لا يمنع تضاعف الحمض

النوى دن أ الفيروسي عند وجوده مرتبطا (مندمجا) من الحمض النووى دن أ البكتيرى . بما يدل على أن تضاعف الحمض النووى البكتيرى يتم بنظام مختلف عن ما يحدث فى نظام تضاعف الحمض النووى الفيروسي ، وعند وجود موقع الاستقبال receptor خاليا من المثبط البروتينسى فان الحمض النووى دن أ الفيروسي يتضاعف بسرعة دون أى سيطرة من الخلية ، كما يتم ترجمة المعلومات الوراثية عليه الى بروتينات فيروسية .

وقد أمكن انتاج طفرات ضارية virulent من الفيروسات المعتدلة temperate phage باحداث طفرات فى كل من المورث سى ١ (C₁) أو فى موقع الاستقبال المذكور ، فالطفرة فى المورث سى ١ تؤدى الى انتاج بروتين مثبط غير فعال لا يرتبط بموقع الاستقبال ، أما الطفرة فى موقع الاستقبال فينتج عنها عدم قدرة البروتين المثبط الفعال فى الارتباط بموقع الاستقبال الذى تم تغييره . وفى كلتا الحالتين يتضاعف الحمض النووى دن أ الفيروسي دون أى سيطرة للخلية عليه ، ويشبه فى ذلك الفيروسات الضارية حيث لا يستطيع اكساب الخلايا القدرة الكامنة على التحلل (الحالة اللايسوجينية) .

بعض الفاجات قابلة للحث Inducible بما فى ذلك فاج لامدا ، والمقصود بقابلة للحث " انه يمكن تحويلها من الحالة الكامنة repressed الى دورة التحلل Lytic cycle وتسمى عملية التحويل هذه بالحث Induction . ويمكن حث الفاج phage induction بواسطة عدد من العوامل المختلفة التى تؤثر على الحمض النووى دن أ مثل الأشعة فوق البنفسجية UV light . تجويع مؤقت للثيمين Thymine starvation المعاملة بمركبات الالكيل Alkylating agents أو المعاملة بالمضاد الحيوى ميتومايسين سى (mitomycin C) .

المناعة : Immunity

إذا سمح لخلايا ذات قدرة كامنة على التحلل بأن تمتزج جسيمات

فاج أخرى مختلفة فان هذه الخلايا يقال عنها انها حدث بها اصابة بعد اصابة (عدوى اضافية) Super infected حيث يتخلل الحمض النووى دنأ للفاج الثانى الى داخل الخلية ذات القدرة الكامنه على التحلل . ولكن قدرة هذا الفاج الثانى على الدخول فى دورة التحلل Lytic cycle للبكتيريا تعتمد على مدى حساسيته لجزئيات البروتين-المشبط الموجودة فى داخل الخلية والتي انتجها الفاج الأول والسدى سكن الخلية مسبقا . فاذا كان الفاج الثانى لا يتأثر بالبروتين المشبط فانه سيدخل فى دورة التحلل ، ويؤدى فى النهاية الى انفجار الخلايا ولكن اذا كان الفاج الثانى حساسا لذلك المشبط ، فان الاصابة الثانية سيحدث لها اجهاض Abortion بمعنى أن الحمض النووى دنأ الخاص بالفيروس الثانى لن يتضاعف ولن تترجم معلوماته ، بل على العكس من ذلك فانه سيخفف بتقدم نمو الخلايا ، فعند انقسام الخلية الى خليتين ، احدى الخليتين الأختيتين تستلم نسخة الفاج التى تم اجهاضها ، والخلية الأختية الثانية لا تستلم نسخ منه ، وباستمرار الانقسام يتم تخفيف الاصابة الثانية ، وفى هذه الحالة يقال للخلايا ذات القدرة الكامنه على التحلل أنها منيعة Immune أى اكتسبت مناعة للاصابة بالفاج الثانى .

وعند ما يكون نوعين مختلفين من الفاجات حساسين لنفس المشبط ، فانه يقال عن هذين الفاجين أنهما " متعاونين فى المناعة Coimmune " ويجب التفريق بين المناعة Immunity ومقاومة الفاجات Phage resistance . فالأخيرة تنتج عن طفرة فى موقع امتزاز الفاج على سطح الخلية بحيث لا يستطيع الفاج الامتزاز على سطحها وبالتالي لا يمكن حقن حمض النووى داخل الخلية البكتيرية .

المَبَابُ السَّابِع

وراثۃ الأحياء الدقيقۃ وبيولوجيتها الجزيئية

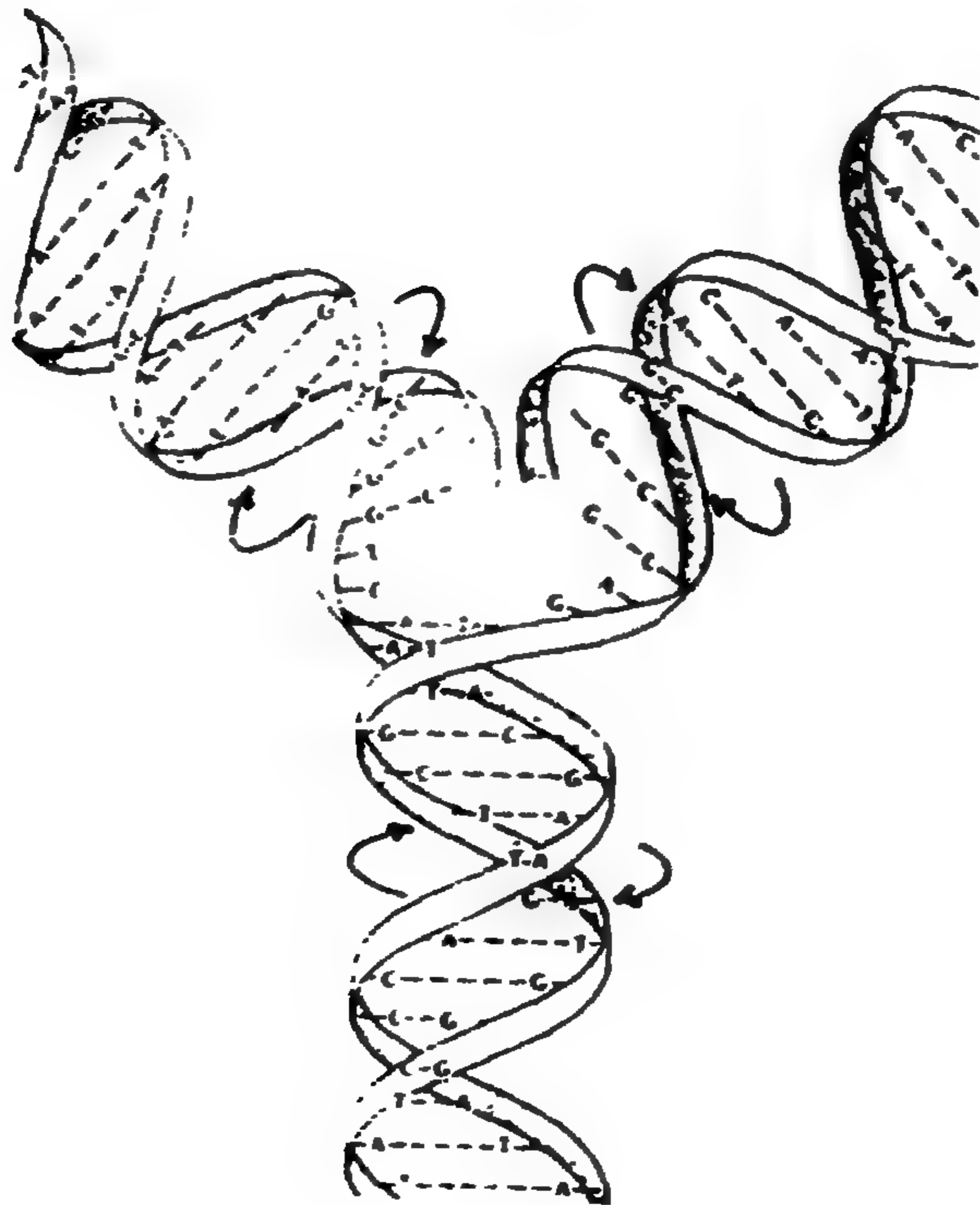
الفصل الثامن عشر : وراثۃ الفامات وبيولوجيتها الجزيئية .

الفصل التاسع عشر : وراثۃ الأحياء الدقيقۃ بدائية النواه

وبيولوجيتها الجزيئية

الفصل العشرون : وراثۃ الأحياء الدقيقۃ حقيقيۃ النواه

وبيولوجيتها الجزيئية



Phage genetics and molecular biology

أما تضاعف جزيئات د ن أ فهي تتلخص في انفصال سلسلتى الحمض النووى د ن أ ثم يبنى على كل من السلسلتين المنفصلتين سلسلة مكملـة لها ، فينتج عن ذلك سلسلتين من الحمض د ن أ تشبهان السلسلة الأبوية تماما . وهناك نظريات مختلفة تفسر كيفية حدوث التضاعف . كما أنه قد أصبح من الممكن الآن تعريف المورث Gene والطفرة Mutants تعريفا دقيقا على المستوى الجزيئى :

نشر بيدل وتاتم Beadle and Tatum عام ١٩٤١ نتائج
دراستهما الوراثة على أحد أنواع Neurospora Sp. وهو فطر يمكن
احداث الطفرات فيه بمعدل أكبر من المؤلف ، وذلك عن طريق التشعيع
بالأشعة السينية X-ray irradiation . وقد وجد هــذان
العالمان أن بعض الطفرات Mutants المتحصل عليها تختلف في
قدرةاتها الأيضية والتخليقية عن السلالة الأبوية للفطر ، وهذا يعنى أن
هذه السلالات تحتوى على أنزيمات مختلفة عن السلالة الأبوية ، وبدراسة
العلاقة بين الاختلافات الوراثة والاختلافات في المحتوى الانزيمى
استنتج بيدل وتاتم تحكم المورثات gene فى النشاط الانزيمى حيث

أدخلا تعبير مورث (جين) واحد لانزيم واحد One gene one enzyme للدلالة على أن هناك مورثا واحدا يتحكم في انزيم واحد . ثم تطورت الدراسات بسرعة حيث أمكن معرفة أن بعض الانزيمات تتكون من أكثر من سلسلة ببتيدية واحدة ، وقد تكون السلاسل الببتيدية المختلفة في نفس الانزيم ذات ترتيب مختلف للأحماض الأمينية ، فطور تعبير بديل وتاتم ليكون مورث واحد لسلسلة ببتيدية واحدة .

وعلى هذا يمكن تعريف المورث (حامل الصفات الوراثية) gene بأنه مقطع من الحمض النووي DNA تترتب فيه القواعد النيتروجينية ترتيبا يحدد تسلسل الأحماض الأمينية في سلسلة ببتيدية واحدة Single Polypeptide chain وذلك بواسطة عمليتي نقل الشفرة transcription وترجمة الشفرة Translation.

لذلك ... فان تغيير تسلسل القواعد النيتروجينية في الحمض النووي DNA وذلك بحذف قاعدة واحدة أو اضافة قاعدة واحدة أو حتى تغيير قاعدة واحدة قد ينتهي بتغيير تسلسل الأحماض الأمينية في السلسلة الببتيدية . وبعض هذه التغيرات التي تطرأ على تسلسل الأحماض الأمينية في السلسلة الببتيدية قد ينتج عنه تغيير في التركيب الثانوي أو الثالثي أو الرابعي للبروتين مما ينتج عنه فقد كلي أو جزئي في نشاط البروتين وهو ما يعرف بالطفرة .

الطفرة mutant هي أي تغيير في ترتيب القواعد النيتروجينية في الحمض النووي DNA لأي مورث أو مورثات ، سواء كان هذا التغيير ناتج عن استبدال قاعدة نيتروجينية بقاعدة أخرى أو حذف أو اضافة قاعدة واحدة أو أكثر بين القواعد النيتروجينية للحمض النووي .

ورغم أن السلاسل عديدة الببتيدات المختلفة تختلف كثيرا في طولها ... فقد وجد أن معظم السلاسل الببتيدية التي تم قياسها لها وزنا جزيئيا يتراوح بين ٣٠٠٠ و ٤٠٠٠٠ وهذا يدل على أن هذه السلاسل تحتوي على عدد من الأحماض الأمينية يتراوح بين

٢٥٠ الى ٣٠٠ حمض أميني . فاذا اعتبرنا أن جزيء البروتين به حوالي ٣٠٠ حمض أميني ، وأن كل حمض أميني له شفرة مكونة من ثلاث قواعد نيتروجينية يكون المورث مكون تقريبا من حوالي ١٠٠٠ قاعدة نيتروجينية تقريبا . وجيث أن الحمض النووي دنأ يكون مزدوج السلسلة فمتوسط طول الجين يكون عبارة عن (١٠٠٠) ألف زوج من القواعد النيتروجينية ، ويختلف عدد المورثات في الفيروسات المختلفة اختلافا كبيرا (جدول ١٨-١) ، كما أن كلمة مورث gene تستخدم أيضا لوصف مقاطع من دنأ لا تترجم الى بروتينات ، ولكنها تستخدم لانتاج جزيئات ت ر ن أ أو . ررنأ السابق الاشارة اليهما . وتستخدم أيضا للتعبير عن مقاطع من دنأ لا ينتج عنها ررنأ على الاطلاق ، ومثل تلك المقاطع موقع الاستقبال في فاج لامدا (λ) والذي يرتبط به البروتين المشبط ، وعند ارتباط البروتين المشبط بمورث موقع الاستقبال ، فان فاج لامدا يتحول الى الحالة الكامنة repressed .

الخلط الوراثي في الفيروسات

Genetic Recombination in Viruses

يمكن تعريف الخلط الوراثي من الوجهة الجزيئية على أنه العملية التي ينتج عنها تكوين كروموسوم بنوي Progeny ناتج من الحمض النووي الأبوي Parental لفيروسين مختلفين .

فاذا تم غزو خلية بكتيرية في نفس الوقت بفيروسين متقاربين ، ولكن يختلفان في عدد من العلامات الوراثية Genetic markers (مورثات) فان الفيروسات البنوية الناتجة عند انفجار الخلية لا تشمل فيروسات من نوع الأبوين فقط بل أيضا يوجد عدد من الفيروسات تحتوي على كروموسوم ناتج عن اختلاط (مورثات) علامات وراثية من كلا من الأبوين . Genetic recombinants

كان هيرشى وروتمان Hershey & Rotman عام ١٩٤٩ أول من درس تكوين الخلطات الوراثة في الفاج حيث استعملتا طفرتين مختلفتين من فاج تى ٢ T_2 لغزو بكتيريا القولون (*E. coli* B/2) . والطفرتين الفيروسيّتين لفاج تى ٢ اللذان استعملهما هيرشى هما :

الطفرة (r^-) وهى طفرة تؤدى الى سرعة تحليل الخلايا rapid lysis . والطفرة (h^-) وهى طفرة ذات مدى عوائلى واسع، أى تهاجم عائلا آخر من البكتيريا . وهى البكتيريا ب / ٢ (*B/2*) علاوة على اصابتها لسلالة البكتيريا (*B*) . أما السلالة البرية للفاج تى ٢ (T_2) فهى تصيب سلالة البكتيريا ب (*B*) فقط ولا تصيب ب / ٢ (*B/2*) .

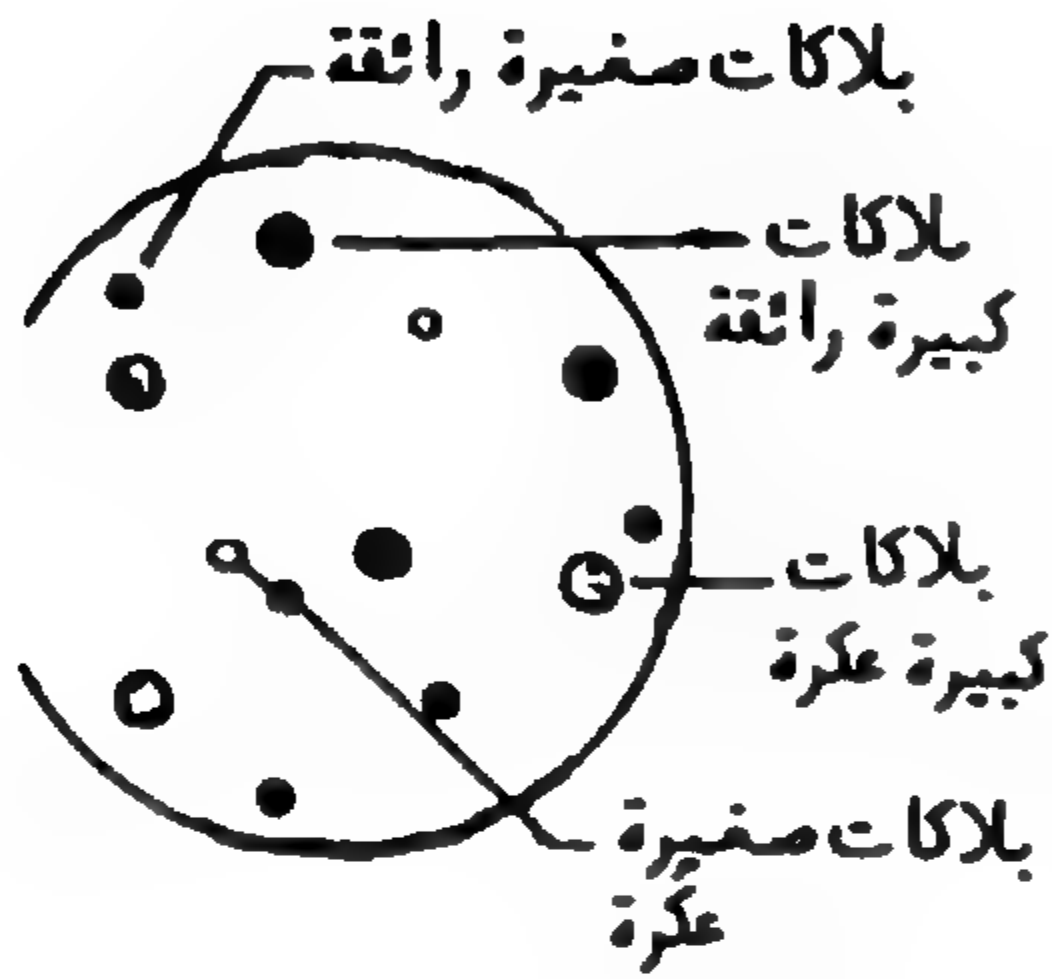
وقد رمز الى السلالة البرية لفاج تى ٢ بالرمز $T_2 r^+ h^+$ أما الطفرة التى تؤدى الى سرعة التحلل فيطلق عليها $T_2 r^-$ وأما طفرة اتساع المدى العوائلى فيطلق عليها $T_2 h^-$ أما الطفرة المزدوجة فهى $T_2 r^- h^-$.

وقد تمكن هيرشى من الحصول على الطفرة المزدوجة $T_2 r^- h^-$ عندما حقن الطفرة $T_2 r^-$ على بكتيريا من السلالة ب / ٢ (*B/2*) — فالبلاكات التى تظهر عليها لا بد وأن تكون طفرة مزدوجة $T_2 r^- h^-$.

وعندما قام هيرشى بحقن الطفرة المزدوجة $T_2 r^- h^-$ والسلالة البرية $T_2 r^+ h^+$ معا فى نفس الوقت على سلالة البكتيريا ب (*B*) تحصل من كل خلية مصابة على السلالات الفيروسية الأربع التالية :

- ١ — السلالة البرية $T_2 r^+ h^+$ (أحد الأبوين) parental type .
- ٢ — الطفرة المزدوجة $T_2 r^- h^-$ (الأب الآخر) parental type .
- ٣ — الطفرة سريعة التحلل $T_2 r^- h^+$ (خلطة وراثية جديدة) Genetic recombinant .
- ٤ — الطفرة المدى العوائلى الواسع $T_2 r^+ h^-$ (خلطة وراثية جديدة) genetic recombinant .

وعند حقن خليط من السلالات الأربع المذكورة على دليل مختلط من البكتيريا ب (B) ، ب/٢ (B/2) يمكن تمييز وجود الأربعة سلالات كما هي موضحة في الشكل (١٨-١) .



شكل ١٨-١ : الشكل المميز للسلالات الأربع من فاج تي ٢ السلالة البرية ($T_2r^+h^+$) بلاكات صغيرة عكرة نتيجة عدم قدرتها على مهاجمة خلايا البكتيريا B/2 السلالة الأبوية الثانية $T_2r^-h^-$ بلاكات كبيرة رائقة تماما بسرعة تحليل الخلايا من السلالتين B/2, B طفرة المدى الموائى الواسع $T_2r^+h^-$ بلاكات صغيرة رائقة تماما نتيجة قدرة الفيروسات على مهاجمة البكتيريا من السلالتين ولكن ليس بسرعة طفرة التحليل السريع للخلايا $T_2r^-h^+$ بلاكات كبيرة عكرة نتيجة قدرة الفيروسات على التحلل السريع لسلالة (B) فقط .

أحداث الطفرات : Mutagenesis

والمعروف أن الطفرات تحدث تلقائيا Spontaneous وبدون توجيه undirected وان كان حدوثها التلقائي يعتبر ظاهرة نادرة وقليلة الحدوث ، إلا أن هناك بعض العوامل والمواد التي يمكنها زيادة معدل التطفر زيادة كبيرة . ومثل هذه العوامل والمواد تسمى عوامل تطفرية أو مطفرات mutagenic agents or mutagen أو مواد تطفرية ، ومن أمثلتها الأشعاعات الثابتة مثل الأشعة فوق البنفسجية UV light والأشعة السينية X-ray وشبيهات القواعد النيتروجينية base analogues وحمض النيتروز nitrous acid وصبغات الاكريدين Acridines والمواد التي تضيف مجموعة الالكيل لقواعد البيورين والبريميدين Alkylating agents وأحيانا تسمى المواد التي تزيد من معدل حدوث الطفرات باسم

. Carcenogenic agents

. وقد سبق الإشارة الى أن الطفرات تحدث تلقائيا spontaneous في الطبيعة بمعدل منخفض جدا وان كانت نسبتها تتأثر كثيرا بالظروف البيئية ، ومن المعقول أن نفترض أن منشأ الأجناس المختلفة في سائير الفيروسات ، وكذلك الأنواع والسلالات يرجع الى حدوث الطفرات التلقائية المستمرة . كما أن المزيد من السلالات المختلفة لازالت في طريقها الى الظهور عن هذا الطريق أيضا . وليس من الضروري أن يسفر التطفر عن ظهور سلالات فيروسية تكون أقدر على التأقلم من السلالات الأصلية التي نشأت منها بل انه قد يحدث العكس ، بمعنى أن الطفرة الناتجة قد تكون أضعف وأقل ضراوة من السلالة الأم .

عند تعريف الطفرات ذكرنا انها غير موجهة undirected وهذا يعني أنها تحدث مستقلة تماما عن ظروف البيئة التي توافق نموها وتأقلمها .

من ذلك ... نرى أن الطفرات التي تنشأ في الفيروسات وتكون مقاومة لأجسام مضادة Antibodies معينة أو مقاومة لمركبات كيميائية معينة تحدث في مجاميع الفيروسات حتى في غياب مثل هذه الأجسام المضادة أو في غياب هذه المركبات الكيميائية .

ولكن لانتخاب أو عزل مثل هذه الطفرات يجب تعريض هذه المجاميع الفيروسية لتأثير المركبات الكيميائية المطلوب عزل طفرات مقاومة لتأثيرها ، وتحت هذا الظروف فان الفيروسات الحساسة لهذه المركبات الكيميائية تفشل في النمو في وجود هذه المركبات الكيميائية ، في حين أن الطفرة هي التي تستطيع مقاومة هذه الظروف وتستطيع مضاعفة نفسها ، ومثل هذه الطرق تسمى الطرق الانتخابية Selective ولها أهمية كبيرة في اظهار الطفرات التلقائية التي تنتج طبيعيا .

التطفر Mutation

هو أى تغيير دائم فى ترتيب القواعد النيتروجينية فى جزيء د ن أ
سواء أدى هذا التغيير الى تغيير ملحوظ فى الخواص الظاهرية
للفيروس أم لا .

الأساس الكيميائى للتطفر :

ان ترتيب القواعد النيتروجينية (البيورين والبريميدين) فى أى
مورث يمكن تغييره بأى من الطرق التالية :

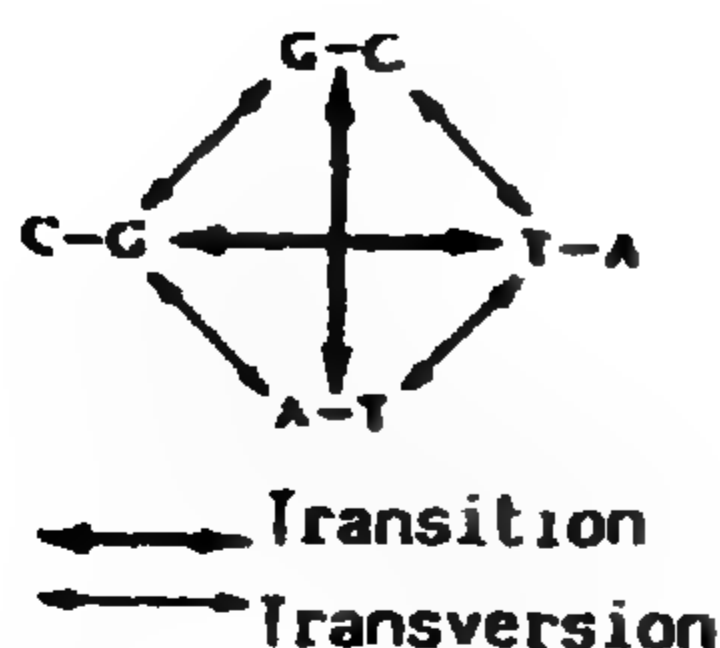
أ- استبدال زوج من القواعد Base-pair substitution والمطفرات
التي تحدثه :

قد يستبدل زوج من القواعد النيتروجينية فى سلسلة الحمض
النوى بزوج آخر مثل تحويل أزواج الجوانين - سيتوزين الى آدينين
- ثيمين أو العكس ، وبذلك فان الشفرة تتغير ، ويتغير الحمض الأمينى
الذى يتم ادخاله فى السلسلة عديدة الببتيدات عند هذا الموقع ،
وينتج بروتين مختلف عن البروتين الأصلى ، وأحيانا يسمى هذا النوع
من الطفرات باسم طفرة النقطة Point mutation وتقسم طفرات النقطة
الى نوعين كما يلى :

(١) استبدال زوج من القواعد النيتروجينية بزوج قواعد

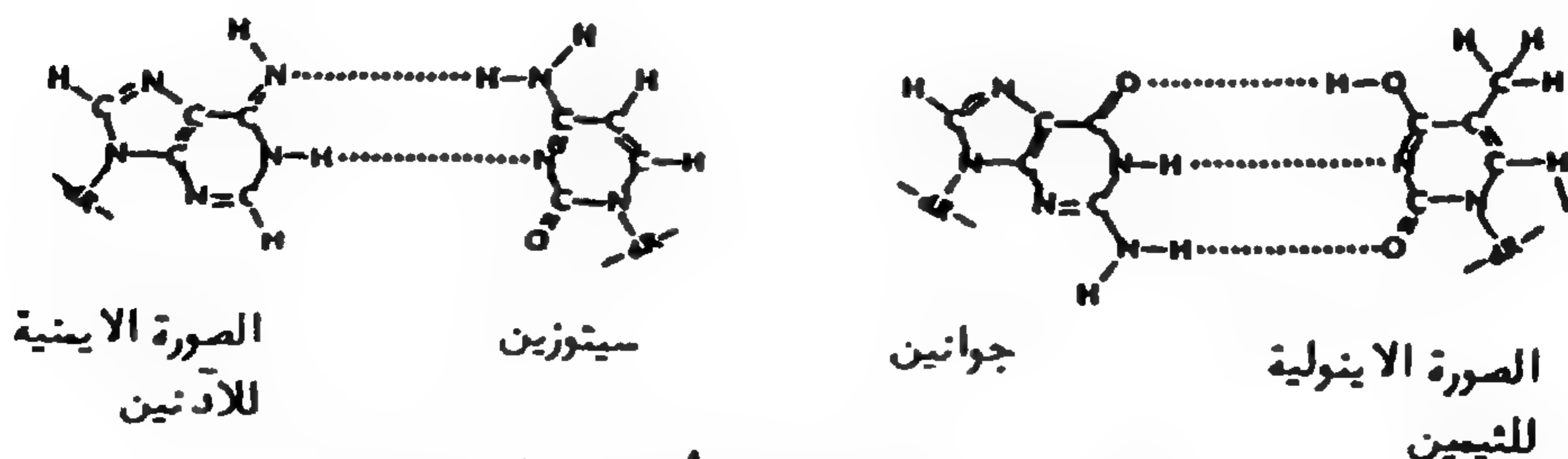
مماثل Transitions

وفى هذا النوع من الطفرات تستبدل قاعدة بيورين مثل الجوانين
أو آدينين بقاعدة البيورين الأخرى فى نفس الموقع ، ويقابلها فى السلسلة
الأخرى استبدال قاعدة البريميدين مثل الثيمين أو السيتوزين بقاعدة
البريميدين الأخرى (شكل ١٨-٢) .



شكل ١٨-٢ : استبدال أزواج القواعد النيتروجينية عند استبدال بيورين ببيورين آخر أو بريميد بـ بريميد يسمى الاستبدال Transition وعند استبدال بيورين بـ بريميد أو العكس يسمى الاستبدال Transversion.

وقد أشار واتسون وكريك Watson and Crick عام ١٩٥٣ في بحثهما الأصلي الشهير الى أن هذا النوع من الطفرات قد يحدث نتيجة لانتقال زوج من الالكترونات Tautomeric Shift of electrons لتحويل قاعدة بريميد من مثل الثيمين من الصورة الكيتونية Ketoform الى الصورة الاينولية Enol form (شكل ١٨-٣) فيرتبط بذلك مع الجوانين بدلا من الأدينين عند تضايف الحمض النووي دن أ كما قد يحدث انتقال زوج الالكترونات في قاعدة بيورين أيضا مثل الأدينين فيحولها بذلك من الصورة الأمينية Amino form الى الصورة الاينينية Imino form (شكل ١٨-٣) . فترتبط بذلك عند تضايف الحمض النووي دن أ مع السيتوزين بدلا من الثيمين . كما أن انتقال أزواج الالكترونات قد يحدث في القواعد الأخرى مثل الجوانين والسيتوزين مؤديا أيضا لحدوث طفرات النقطة المسماة transitions.



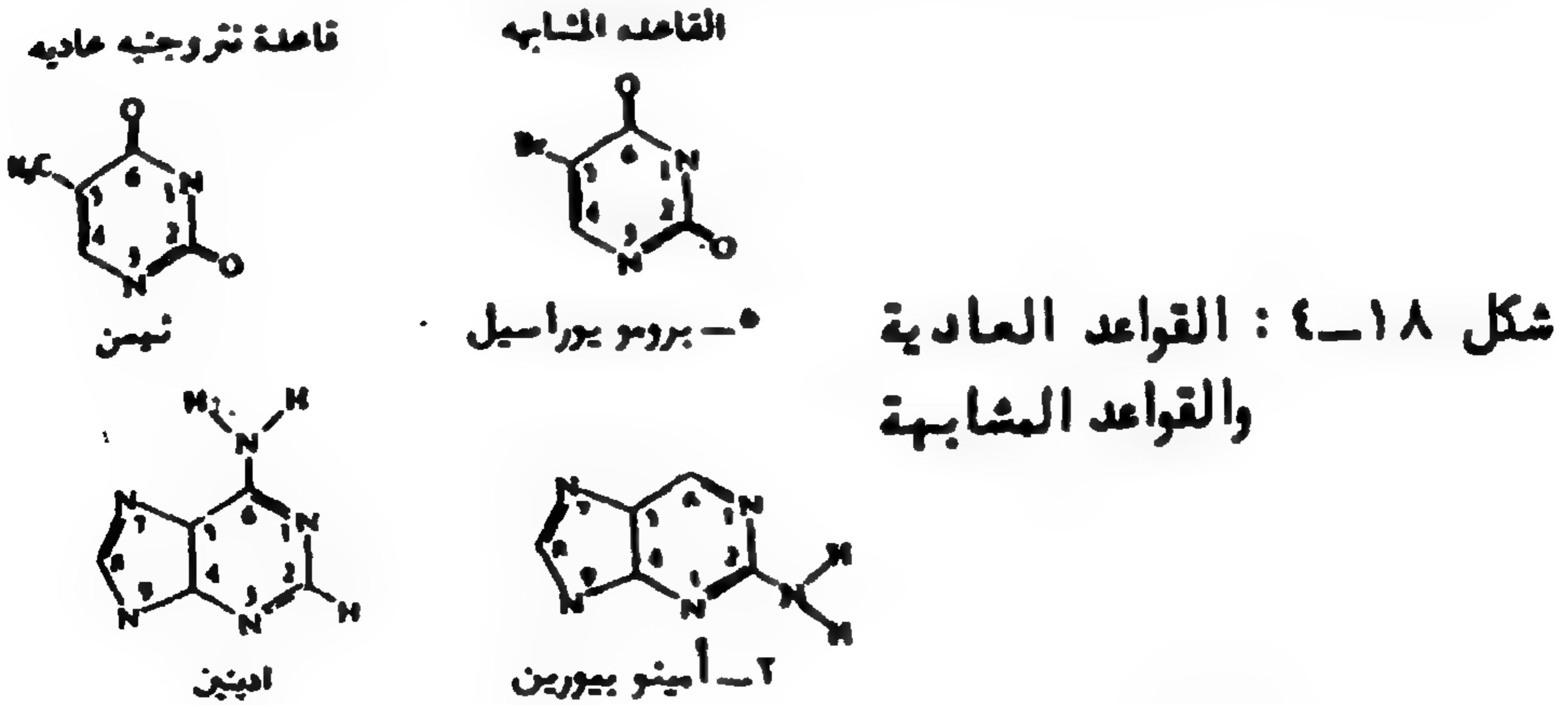
شكل ١٨-٣ : التغيرات في أزواج القواعد نتيجة لانتقال أزواج الالكترونات حيث تتحول الصورة الكيتونية الى الصورة الاينولية فتختلف القاعدة المكملة لزوج القواعد أو تتحول الصورة الأمينية الى الصورة الاينينية فتختلف القاعدة المكملة لزوج القواعد .

(٢) استبدال زوج من القواعد النيتروجينية بزوج مخالف:

Transversions

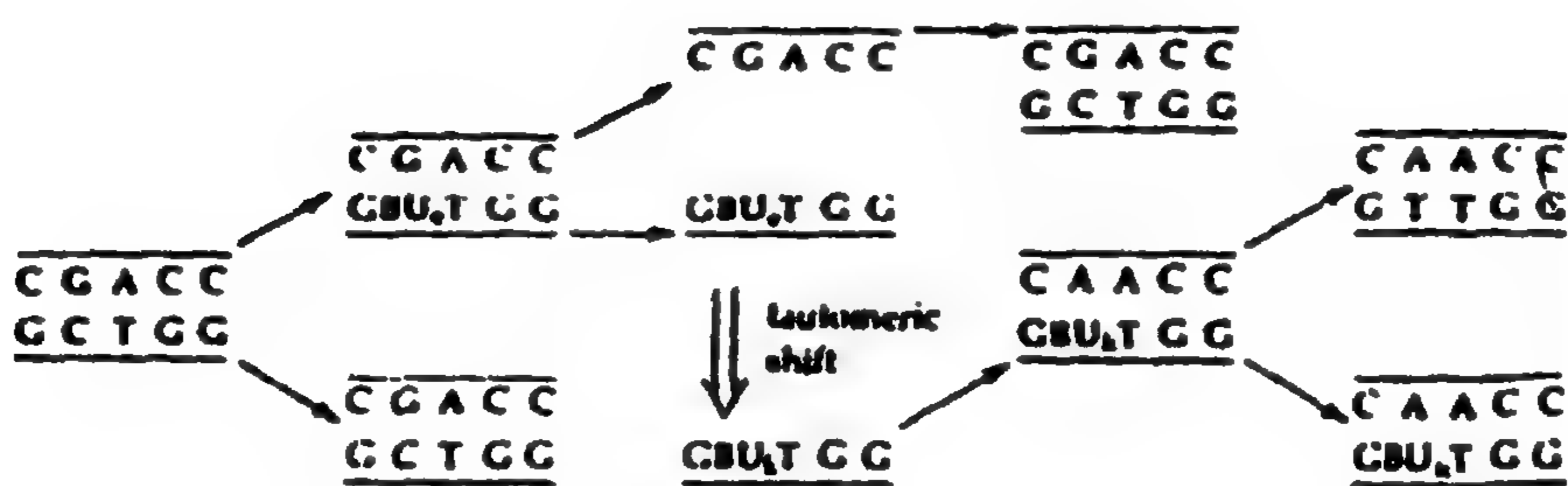
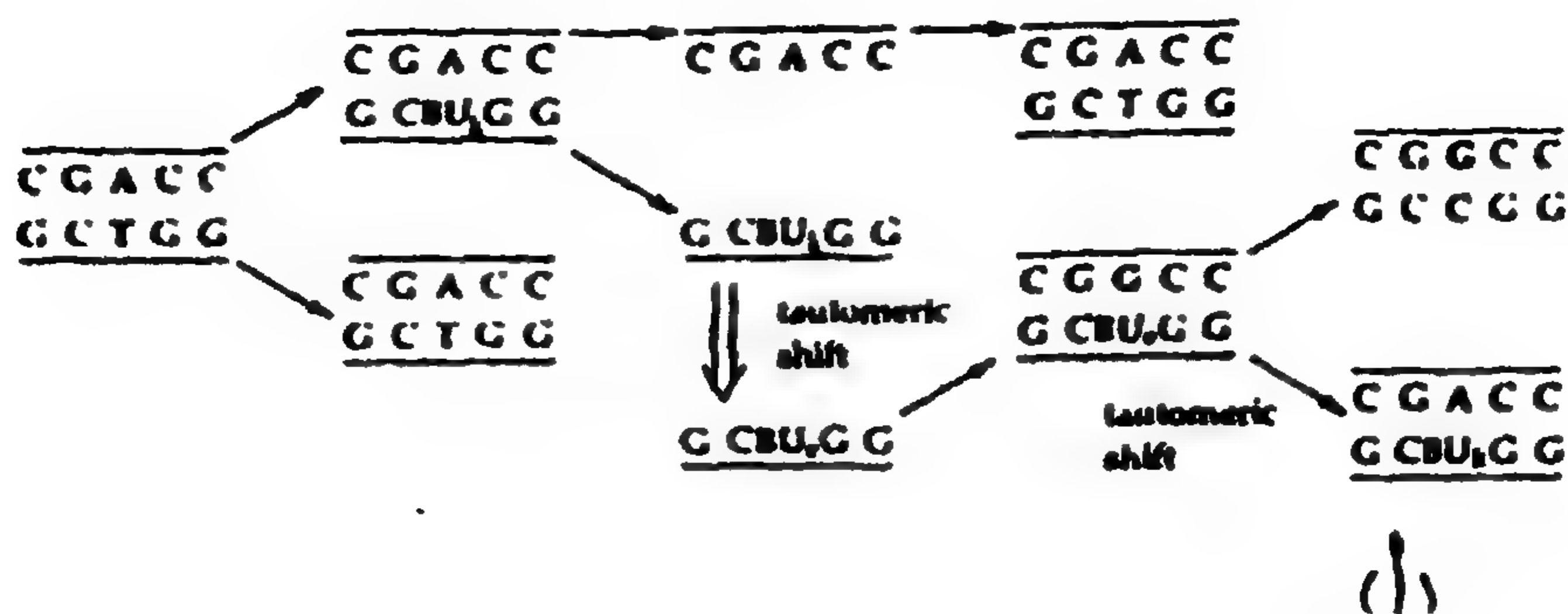
وفي هذا النوع من الطفرات تستبدل قاعدة بيورين في احدي السلسلتين بقاعدة بريميدين في نفس الموقع ويقابلها في السلسلة الأخرى استبدال قاعدة بريميدين بقاعدة بيورين (شكل ١٨-٢) وتحدث هذه الاستبدالات أيضا نتيجة لانتقال أزواج الالكترونات في أى قاعدة نيتروجينية - كما سبق الذكر .

وتحدث طفرات النقطة في الفيروسات طبيعيا بنسبة قليلة ، ولكن يمكن زيادة نسبة حدوثها باستعمال شبيهات القواعد Base analogues مثل مركب ٥ - بروميوراسيل 5-Bromo uracil أو ٢-أمينوبيورين Amino purine (شكل ١٨-٤) وهي مركبات معروفة بحدوث انتقال أزواج الالكترونات Tautomeric shifts بصورة أكثر مما في القواعد النيتروجينية العادية في الأحماض النووية (الجوانين - الأدينين - الثيمين - السيتوزين) وعند اضافة أيا من المركبين ٥



- بروميوراسيل أو ٢ - أمينوبيورين في البيئة ، فانه يتم ادخالهما في الحمض النووي دن أحدث التكوين حيث يدخل ٥ - بروميوراسيل محل قاعدة الثيمين ، أما مركب ٢-أمينوبيورين فيدخل محل قاعدة الأدينين ، وشبيهات القواعد المذكورة تتحول من صورة الى أخرى بكثرة وينتج

عن ذلك طفرات النقطة من نوع استبدال القواعد بقواعد مماثلة transversions
'و بقواعد مخالفة transversions (شكل ١٨-٥) .



(ب) شكل ١٨-٥ :

- أ - عندما يدخل البروميوراسيل (الصورة الكيتونية) فان انتقال زوج من الالكترونات أثناء تضاعف الحمض النووي دنا يسبب تغيير زوج القواعد من AT الى GC .
- ب - وعندما يدخل البروميوراسيل (الصورة الاينولية) فـان انتقال زوج الالكترونات أثناء تضاعف الحمض النووي دنا - يسبب تغيير زوج القواعد من GC الى AT .

ويطلق على الموقع الدقيق للطفرة اصطلاح (الأليل) Allele
وقد يحدث استبدال للقواعد في عديد من المواقع Many alleles في
نفس المورث gene . بعض هذه المواقع قد يكون أساسيا لنشاط البروتين
النتائج عن المورث المذكور ، فيمكن كشف هذه الطفرة بانخفاض كبير في نشاط
البروتين المذكور أو غياب النشاط كليا . وتتميز معظم طفرات النقطة

بأنها (تسمح بالتسرب) Leaky mutants بمعنى أنها لا تؤدي إلى اختفاء نشاط المورث اختفاءً كلياً . وقد تكون الطفرة في موقع غير أساسي لنشاط البروتين ، وبذلك لا يمكن كشف هذه الطفرة بالطرق العادية ، كما قد تتكون طفرات قاتلة Lethal mutations وهذه أيضاً لا يمكن كشفها إلا إذا أمكن تنمية الكائن في ظروف لا تسمح بإظهار الطفرة Conditionally expressed lethal mutations .

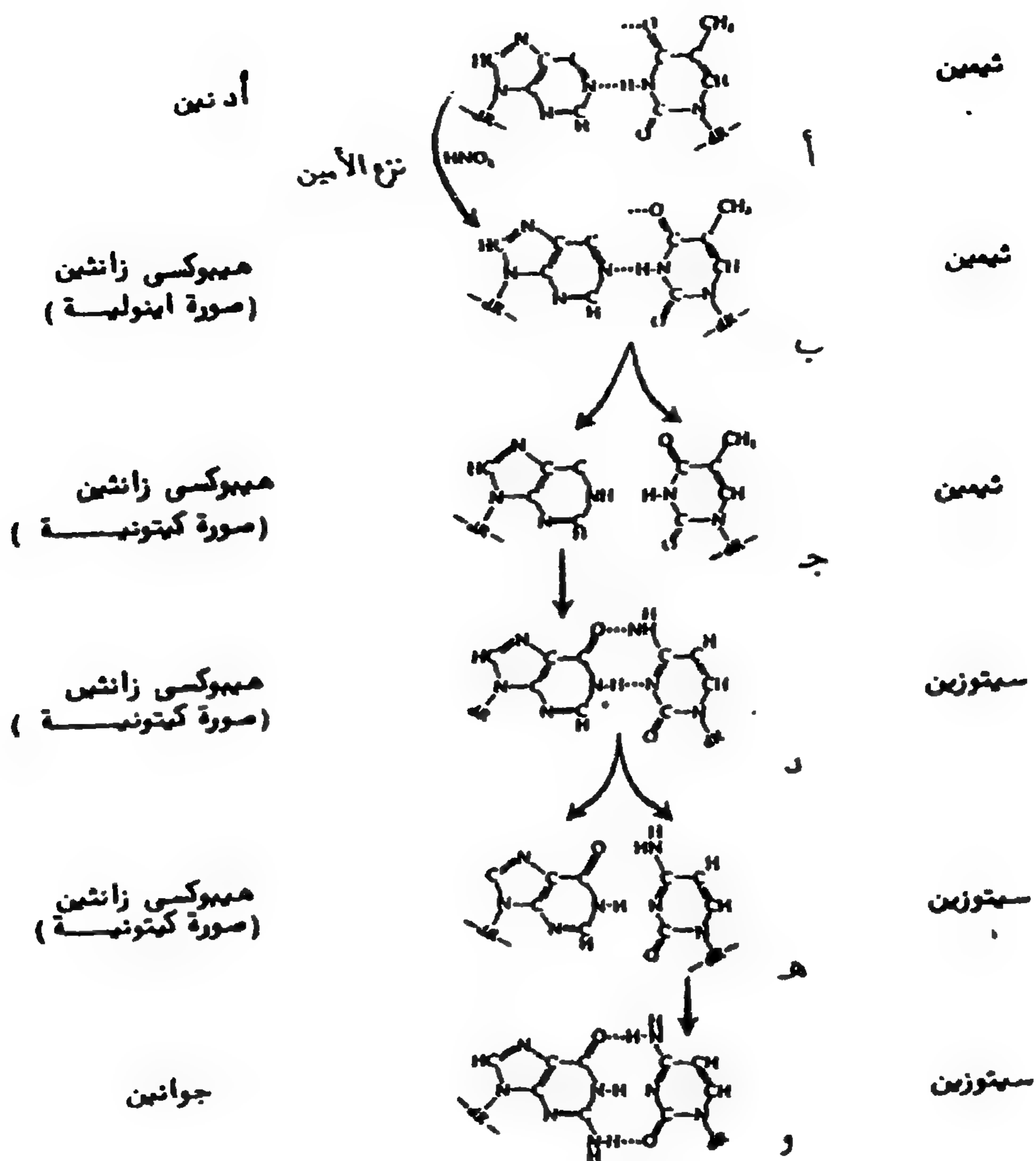
(٣) المطفرات التي تحدث طفرات النقطة (استبدال زوج قواعد)

ويطلق على المواد التي تستخدم لزيادة نسبة الطفرات باسم المواد المطفرة mutagenic agents أو المطفرات mutagens .

ومن المواد المطفرة القادرة على إحداث تغيير زوج من القواعد النيتروجينية بزوج قواعد ماثل transitions هي حمض النيتروز Nitrous acid والهيدروكسيل أمين Hydroxyl amine ويقوم حمض النيتروز بنزع مجموعات الأمين من القواعد النيتروجينية في الحمض النووي DNA واستبدالها بمجموعات هيدروكسيل . فإذا حدث مثل هذا الاستبدال في قاعدة الـ Adenine مثلاً فيتكون منه مركب هيبوزانثين Hypoxanthine والذي يرتبط عند التضاعف مع السيتوزين بدلاً من الثيمين (شكل ١٨-٦) فتتحول أزواج AT إلى أزواج GC كما تتحول أزواج GC إلى أزواج AT .

أما مركب الهيدروكسيل أمين فهو يتفاعل عادة مع السيتوزين فقط بنزع مجموعة الأمين واستبدالها بمجموعة هيدروكسيل أمين مكوناً مشتقات الهيدروكسيل أمين للسيتوزين وهذا الأخير تحدث فيه انتقال أزواج الإلكترونات بكثرة ، وينتج عن ذلك تغيير أزواج GC إلى AT .

ومن المواد المطفرة القادرة على إحداث نوعي طفرات النقطة (استبدال القواعد النيتروجينية بقواعد ماثلة أو مخالفة) هي المطفرات التي تدخل مجموعة الألكيل Alkylating agents مثل غاز المستردة



شكل ١٨-٦ : مثال للطفرات الناتجة عن المعامل بحمض النيتروز

أ- زوج AT في حمض دنا

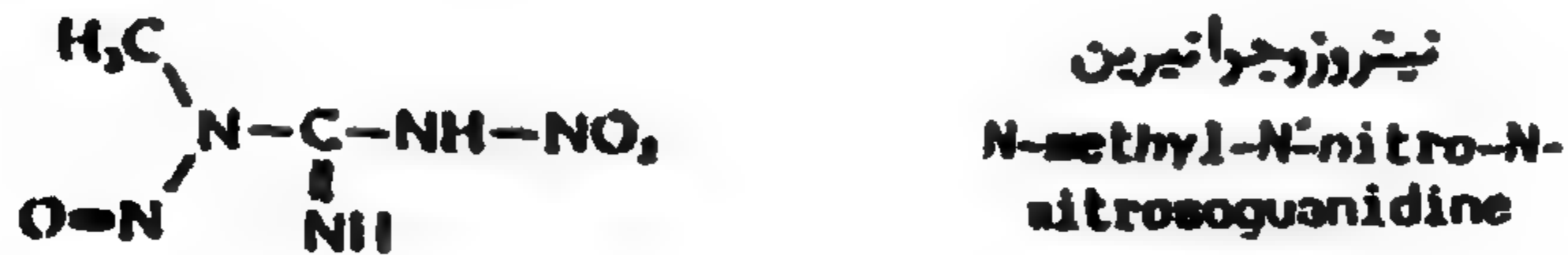
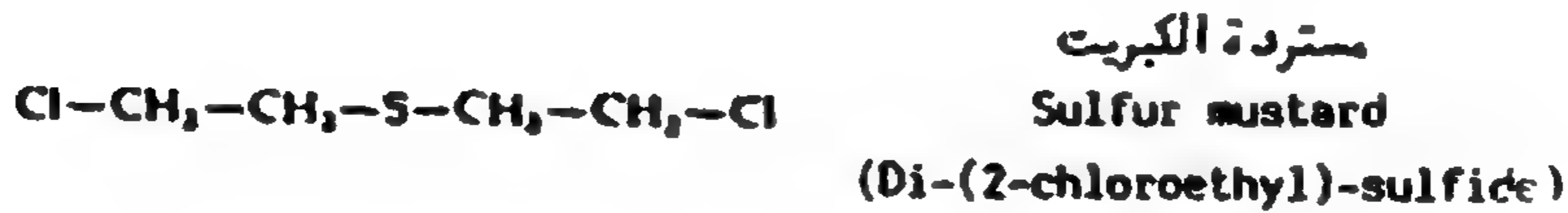
ب- نزع مجموعة الأمين من الأدينين وتحويله الى هيبيوزانثين. (HX)

ج- عند انفصال سلسلتى الحمض النووى يؤدى انتقال زوج الالكترونات الى تحول الصورة الكيتونية الى الصورة الاينولية.

د- عند التضاعف يتكون زوج هيبيوكسانثين - سيتوزين.

هـ ، و - الدورة التالية من التضاعف حيث يظهر GC بدلا من AT

Mustard gas والايثيل ميثان سلفونات (EMS) Ethylmethan sulfonate والنيتروزوجواندين Nitrosoguanidine واسمه العلمي N-methyl-N'-nitro-N-nitrosoguanidine شكل (٧-١٨) وهذه المطفرات تنقل مجموعة الكيل Alkyl الى ذرة النيتروجين رقم ٧ على قاعدة الجوانين وغيره من القواعد النيتروجينية . كما أن ادخال مجموعات الالكيل Alkylation على ذرات أخرى في القواعد النيتروجينية يمنع تكوين أزواج القواعد Base pairing . ويؤدي الى نزع مجموعات البيورين من سكر الـ دي أوكس ريبوز على السلسلة الهيكلية للحمض النووي DNA . وتؤدي كل هذه التغييرات الى حدوث استبدال أزواج القواعد بقواعد ماثلة أو مخالفة . لذلك تعتبر هذه المطفرات من أقوى المطفرات المعروفة ، ويستخدم النيتروزوجواندين بكثرة لاجداث الطفرات في الفيروسات وغيرها من الأحياء الدقيقة .



شكل ٧-١٨ : التركيب البنائي لبعض المواد المطفرة التي تدخل مجموعة الالكيل .

وكثيرا ما ترتد طفرات النقطة Point mutations الى سلااتها البرية Wild type . وارتداد أى طفرة Mutant الى سلااتها البرية يطلق عليها الارتداد Reversion . ونسبة الارتداد فسي

طفرات النقطة عالية (الشكل ١٨-٣) نتيجة لعودة انتقـال زوج
الالكترونات الى مكانها الطبيعي .

ب - تحريف موقع الشفرة Frame shift mutation والمطفرات

التي تحدثها :

وقد سميت تلك الطريقة بهذه التسمية نظرا لأنه يحدث ادخال
insertion أو ازالة Deletion لزوج واحد من القواعد أو عدة
أزواج قليلة من القواعد النيتروجينية مما ينتج عنه تحريف لموقع الشفرة
العادية بعد مكان الطفرة ، فيتغير تسلسل الأحماض الأمينية الناتجة
عن مثل هذا التسلسل الجديد في القواعد النيتروجينية (شكل ١٨-٨)
من المطفرات التي تنتج هذا النوع من الطفرات صبغات الاكريد يسـن
Acridine وأهمها وأكثرها دراسة هي صبغة البروفلافينـين
Proflavin . وهذه الصبغة تنتج طفرات تتميز بالارتداد
بطريقة عشوائية . ويمكن زيادة نسبة الارتداد بسهولة بالمعاملة
ثانية بصبغات الاكريد يسـن ، ولكن هذه الطفرات لا ترتد

شكل ١٨-٨ : قطعة من م - رنأ وتقرأ

الرسالة بواسطة الريبوسومات في

مجموعات كل مجموعة مكونه من ثلاث

قواعد نيتروجينية Codon triplet من

اليسار الى اليمين ، وعند ادخال قاعدة

أدينين (A) عند الموقع السابع من

اليسار فان ذلك ينتج عنه تحريف جميع

المجموعات Triplets التي تأتي بعد

ذلك . وقد وضحت المجموعات التي

تغيرت بخطوط مزدوجة تحتها .

AUGUUUACGGGUAACCAUGAGGAG

ادخال A



AUGUUUAACGGGUAACCAUGAGGA

أبدا باستعمال شبيهات القواعد Base analogue أو حمض النيتروز أو الهيدروكسيل أمين (وهي المطفرات التي تنتج طفرات النقطة السابقة الذكر) ... وتتميز طفرات الاكريدن بأنها (لا تسمح بالتسرب) not leaky بمعنى أن المورث الذي تحدث فيه طفرة الاكريدن يسن يختفى نشاطه تماما .

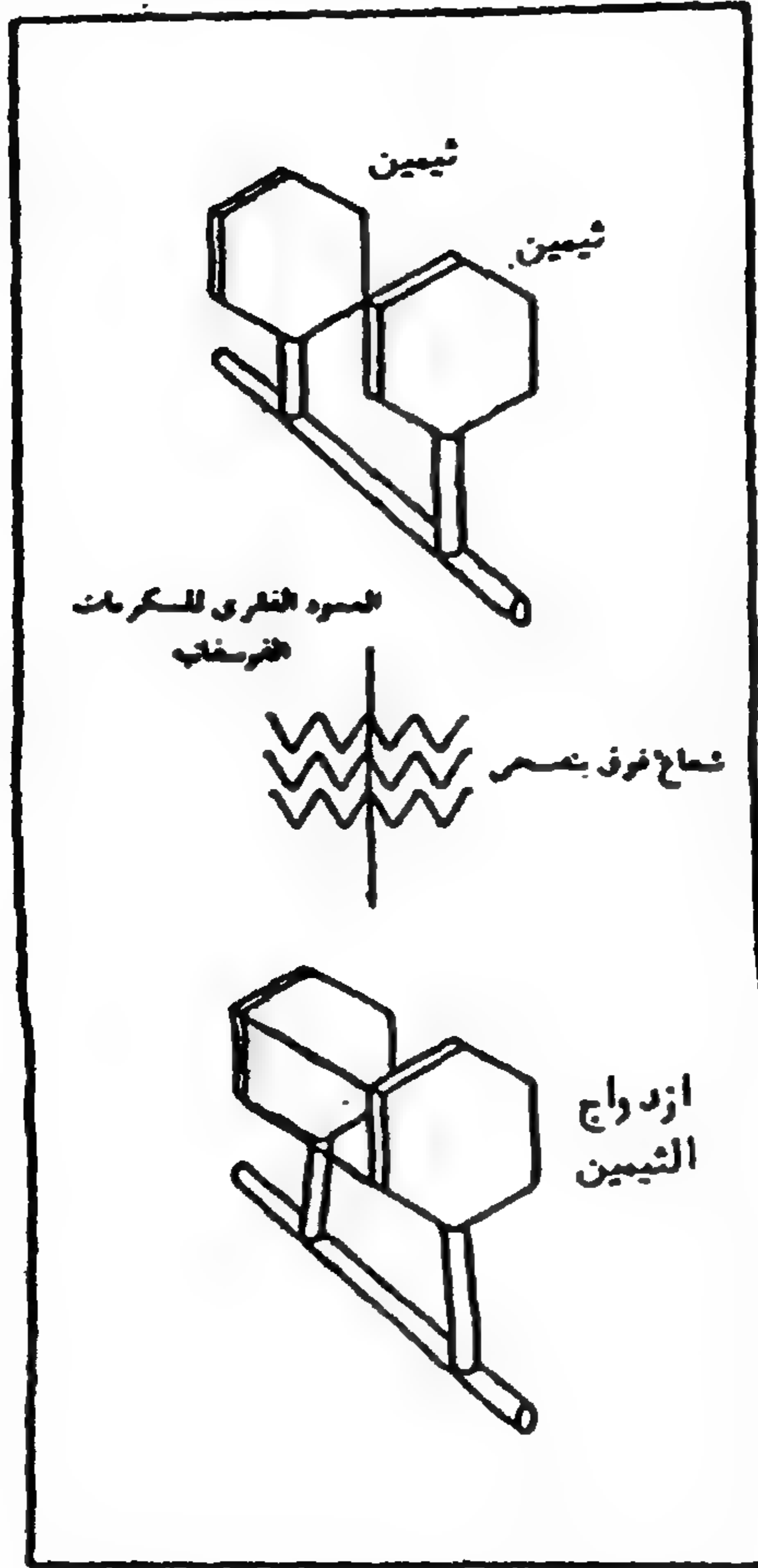
ومن الواضح هنا أن الطفرة الناتجة عن ادخال insertion زوج واحد في موقع معين من الحمض النووي دن أ تترد اذا حذف هذا الزوج من القواعد بحيث يعود التسلسل الى حالته الطبيعية الأصلية ، كما أن ازالة زوج من القواعد في مكان قريب من الطفرة كثيرا ما يؤدي الى ارتداد الطفرة الى حالتها الطبيعية . خاصة اذا كان عدد الأحماض الأمينية صغيرا أو في موقع غير أساسي بالنسبة للبروتين الناتج عن المورث الذي حدثت به الطفرتان .

وترجع قدرة الاكريدن على احداث هذا النوع من الطفرات (ادخال قواعد أو حذف قواعد من الحمض النووي دن أ) الى قدرته في الدخول بين القواعد بنفسه أثناء عمليات خلط دن DNA recombination

وعند معاملة مزرعة بكتيرية مصابة بفاج خاص يلاحظ حدوث الطفرات المذكورة في الفاج بينما لا تحدث هذه الطفرات في مزرعة البكتيريا ، وقد فسرت هذه النتائج على أساس حدوث طفرات الادخال والحذف أثناء عمليات خلط دن DNA recombination والشائعة الحدوث في الفاجات أثناء تضاعفها والقليلة الحدوث في مزارع البكتيريا الغير متزاوجة كما أن الأشعة فوق البنفسجية تنشط خلال سلسلة من التفاعلات طفرات ازالة وادخال قواعد جديدة الى جزيئات الحمض النووي دن أ ، فالمعروف أن الحمض النووي دن أ يمتص الأشعة فوق البنفسجية بشدة عند طول موجي مقداره ٢٦٠ نانوميتر . وعند تعريض محلول الحمض النووي دن أ للأشعة فوق البنفسجية يحدث نوعين من التغيرات الكيميائية ... وهما :

(١) تتكون روابط اشتراكية بين قواعد البريميدين المتجاورة

في نفس السلسلة لتكوين ما يعرف باسم ازدواجات البيريميدين Pyrimidine dimers مثل ازدواج الثيمين (شكل ١٨-٩) .



شكل ١٨-٩ : تكوين ازدواج البيريميدين (الثايمين)
نتيجة للمعاملة بالأشعة فوق البنفسجية .

ويؤدي تكوين هذه الازدواجات الى عدم انتظام شكل جزيئي الحمض النووي DNA ويؤثر على الروابط الموجودة بين القواعد الطبيعية بين السلسلتين .

(٢) يحدث تمية hydration للرابطة الزوجية بين ذرتي الكربون ٤، ٥ في بقايا قواعد البريميدين في جزيء الحمض النووي د ن أ .

ويرجع التأثير المطفر للأشعة فوق البنفسجية بدرجة كبيرة لقدرتها على تكوين أزواج البريميدين ، وإذا كانت جرعات الأشعة فوق البنفسجية كافية ، فإنها تؤدي إلى تثبيط الفيروسات . كما تستخدم الأشعة فوق البنفسجية لتعقيم المختبرات والمستشفيات ، فتقتل الفيروسات وغيرها من الأحياء الدقيقة . وتتميز البكتيريا بوجود نظامين مختلفين لإصلاح العطب الذي يحدث في البكتيريا نتيجة تعريضها للأشعة فوق البنفسجية ، وهذين النظامين أحدهما يتم في الظلام dark reactivation أما الثاني فلا يتم إلا في الضوء ، ويسمى light reactivation.

ج - إزالة جزء كبير Large deletions من المادة الوراثية :

إن إزالة عدد كبير من أزواج القواعد النيتروجينية (البيورين والبريميدين) ينتج عنه طفرات من نوع غير رجعي . بمعنى أن مثل هذه الطفرات لا تترد إلى أصلها (السلالة البرية Wild type) . ويختلف طول القطع التي تزال من الحمض النووي د ن أ اختلافا كبيرا ، فهي تتراوح من جزء في مئتين إلى عدة مورثات متصلة . وعلى سبيل المثال فإن عزل بعض سلالات من بكتيريا القولون المعروفة *E. coli* B ذات المقاومة لفاج تي ١ T₁ يتطلب وجود التريتوفان Tryptophan في البيئة . بمعنى أن السلالات المقاومة للفاج (فقدت القدرة على امتزاز الفاج تي ١ نتيجة إزالة المورث المسئول عن موقع استقبال الفاج على سطح الخلية) تفقد أيضا القدرة على بناء التريتوفان . وبذلك فإن الخلية تكون فقدت عددا من المورثات المتصلة .

وليس هناك نوع من المطفرات يستطيع القيام بإزالة مثل هذه الأجزاء الكبيرة ولكن هذه الطفرات تحدث في الطبيعة تلقائيا spontaneous .

المطفرات في الطور الخارجي والطور الداخلي للفاج :

أ- الطور الخارجي (الفيريونات) للفاج :

ان الحمض النووي للفيريونات الكاملة ثابت جدا ، ولا تحدث به طفرات تلقائية spontaneous mutations يمكن تقديرها حتى وان حفظ لفترات زمنية طويلة .

ويمكن استعمال بعض المطفرات (المواد التي تتفاعل مباشرة مع الحمض النووي دن أ) لاجداث طفرات في الطور الخارجي للفيروسات (الفيريونات) . ومن أمثلة هذه المطفرات حمض النيتروز ومواد ادخال مجموعة الالكيل Alkylating agents والأشعة فوق البنفسجية وغيرها ، وقد سبق ذكر تأثير هذه المواد على الحمض النووي دن أ . وعند تعريض فيريونات كاملة لأحد هذه المطفرات ، فان التغيير السببي يحدث في الحمض النووي لا يظهر الا عندما يبدأ الحمض النووي في التضاعف عندما تغزو الفيريونات المعاملة بالمواد المطفرة خلايا عائل Host cells .

ب- الطور الداخلي للفاج :

المادة الوراثية genome للطور الداخلي للفيروسات (سواء كان هذا الطور الداخلي عبارة عن فاج أولى Prophage أو فساج في مرحلة تكاثر خضري vegetative phage) تتعرض لكسلا النوعين من الطفرات وهما :

- ١- الطفرات التلقائية Spontaneous mutations
- ٢- الطفرات الناتجة عن المعاملة بالمطفرات Induced mutations

وأقسام المطفرات الثلاث التي سبق شرح أساسها الكيميائي

تحدث خلال تضاعف الفاج . وفي الحقيقة فان معظم المعلومات عن ميكانيكية حدوث هذه الطفرات قد تم اكتشافها من تجارب أجريتها على طفرات الفاج .

تأثير ترتيب القواعد النيتروجينية في دنأ على التطفر في الفاج :

قام بنزر Benzer باستعمال الفاج الشهير والمعروف باسم تي ٤ (T_4) والذي يهاجم بكتيريا القولون المعروفة *E. coli* ويحللها بدراسة إمكانية تطفر أى الليل Allele (أى موقع على المادة الوراثية الفيروسية وليكن أى زوج من القواعد) فكان السؤالين اللذان حاول بنزر الاجابة عليهما هما : هل تتطفر كل المواقع — داخل أى مورث — بدرجة متساوية ... وهل المواقع التى تتطفر بمادة مطفرة معينة تظهر نفس الدرجة من التطفر بمواد مطفرة أخرى .

للإجابة على هذين السؤالين ... قام بنزر بعمل خريطة تركيبية دقيقة للمورث rII في الفاج تي ٤ (T_4) بالسلاية البريئة Wild type لفاج تي ٤ (rII^+) تكون بلاكات Plaques صغيرة غير منتظمة الشكل على طبقة منتظمة Lawn من البكتيريا الحساسة ، وهى بكتيريا القولون — سلالة ب *E. coli* strain B أما طفرات تي ٤ في المورث rII (rII^-) فانها تكون بلاكات كبيرة حادة منتظمة ، وعلى ذلك فانه يمكن عزل هذه الطفرات بسهولة من السلالة البرية عند تنميتها على البكتيريا المذكورة .

وقد اكتشف بنزر أن جسيمات تي ٤ البرية (rII^+) تكون بلاكات على عائل آخر وهو سلالة بكتيريا القولون ك (K) ولكن جسيمات تي ٤ الطفرة (rII^-) لا تكون بلاكات على هذه السلالة ك ، وعند أحداث عدوى مشتركة Mixed infection بواسطة طفرتين مختلفتين من تي ٤ (rII^-) في السلالة ب (B) فان معظم البلاكات الناتجة تكون بالأبوين (وهى طفرتي rII^-) المستخدمتين

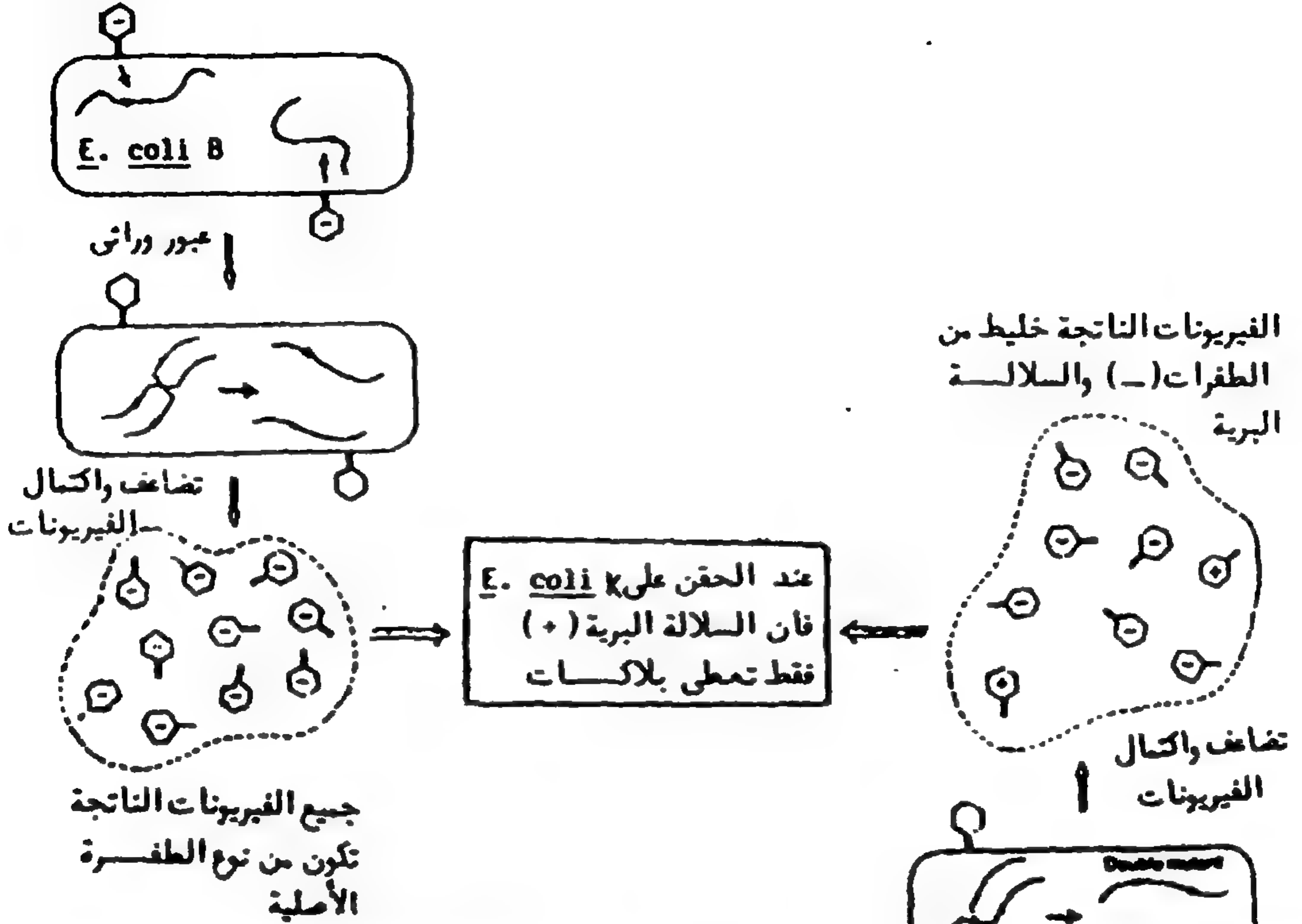
في أحداث العدوى المشتركة (ولذلك فان هذه البلاكات الأخيرة تفشل في تكوين بلاكات على بكتيريا القولون ك ولكن اذا حدث تبادل وراثي genetic recombination بين طفرتي (rII^-) المختلفتين ، فانه ينتج سلالة برية (rII^+) والتي تكون بلاكات على بكتيريا القولون ك . وبذلك تمكن بنزر من الكشف عن حدوث أى خلط وراثي بين الطفرات المختلفة .

عزل بنزر عددا كبيرا من السلالات (rII^-) لفاج تى ٤ ثم قام بعمل اصابة مزدوجة لكل اثنين من هذه الطفرات على السلالة ب (B) من بكتيريا القولون . ثم اختبر البلاكات الناتجة عن الاصابة المزدوجة للطفرات المذكورة باستخدامها لاصابة سلالات ك من بكتيريا القولون ، وذلك للكشف عن وجود السلالات البرية (rII^+) Wild type وقد استخدم بنزر الأسس الوراثية المعروفة عن العبور الورااثي crossing للطفرات ، وهى أنه كلما كانت مواقع الطفرتين المختلفتين بعيدة عن بعضهما كلما كانت نسبة تكوين الخلطات الوراثية genetic recombination بينهما مرتفعة (أو بمعنى آخر كلما كان عدد السلالات البرية rII^+ المتحصل عليها من الاصابة المزدوجة لهاتين الطفرتين كبيرة) ... والعكس بالعكس ... أى كلما كان موقع الطفرتين المختلفتين قريبتين من بعضهما كلما كانت آلية التبادل الورااثي بينهما منخفضة . وعندما تكون الطفرتين فى نفس الموقع لا يحدث أى خلط وراثي Genetic recombination يمكن تقديره (شكل ١٨-١٠)

وبهذه الطريقة استطاع بنزر بناء خريطة دقيقة لجين rII فى الفاج تى ٤ وعزل سلالات تنتمى لأكثر من ٣٠٠ موقع (الليل) فى هذا الجين ، وكل منها يمثل زوج من القواعد Base pair .

وقد اكتشف بنزر أن معدل الطفرات فى كل موقع لم تكن عشوائية ، فقد لاحظ موقعين من هذا الجين تكثر فيهما الطفرات وسماهما المواقع الساخنة 'Hot spots' واحدة منهما ظهرت فيها ٥٢ طفرة بينما الثانية ظهرت فيها ٢٧٥ طفرة . وأكثر من ذلك فان توزيع الطفرات

أ - الطفرتين عند نفس الموقع من المورث

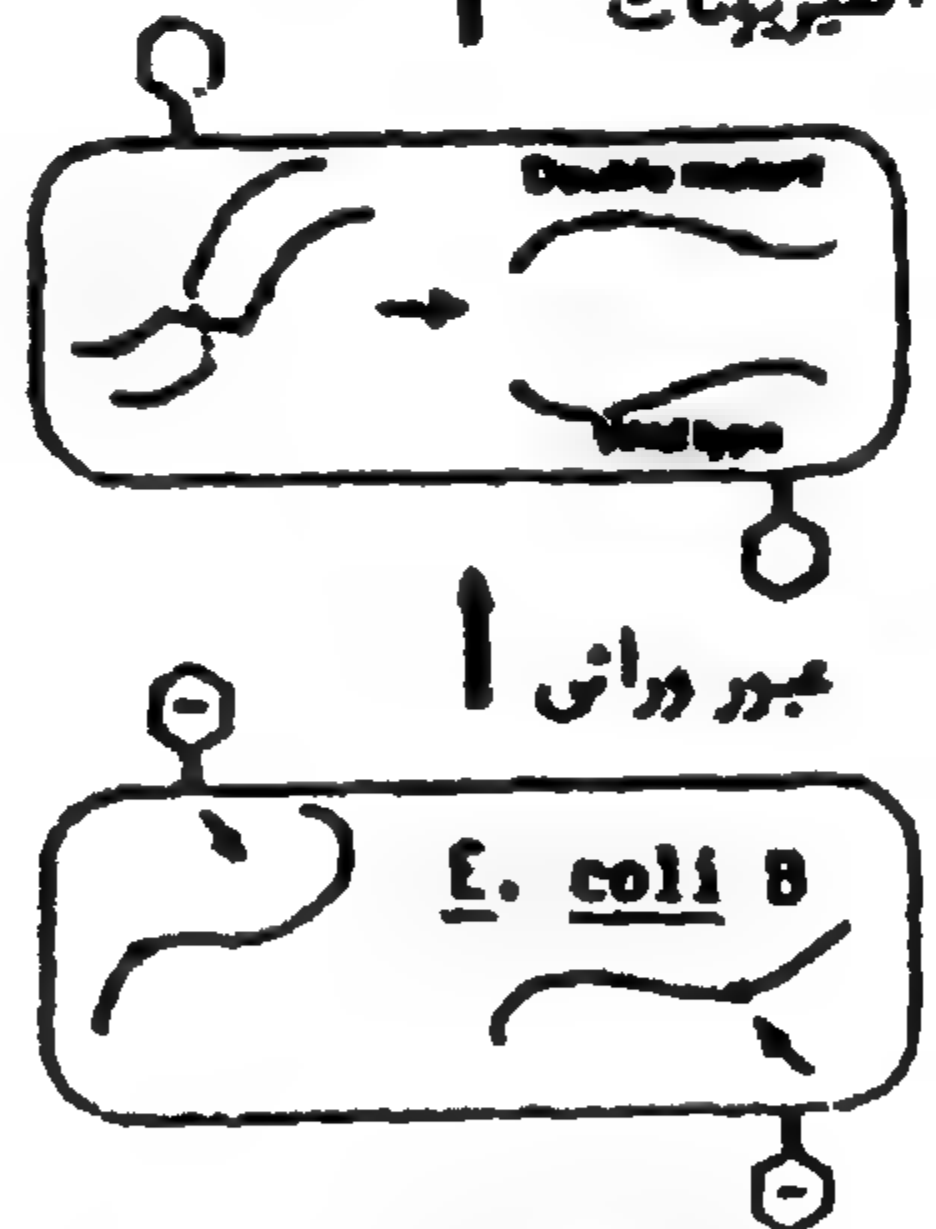


شكل ١٨-١٠ : طريقة اعداد الخريطة

لمورث (جين) rII لفاج تي ٤

أ - يسمح لطفرتين من rII بغزو بكتيريا القولون سلالة B وحيث أن السلالتين تحمل الطفرة في نفس الموقع من مورث rII فالتبادل الوراثي بين الطفرتين لا ينتج عنه إلا الطفرتين الأبوين + ولا ينتج عن هذا التبادل الوراثي الطراز البري من تي ٤ W11d type وذلك لا تستطيع الفيروسات البنية الناتجة عن هذه الإصابة تكوين بلاكيات على خلايا بكتيريا القولون سلالة K12.

ب - يسمح لطفرتين من rII بغزو بكتيريا القولون سلالة B وحيث أن السلالتين تحمل الطفرة في موقعين مختلفين من مورث rII فالتبادل الوراثي بين الطفرتين ينتج عنه فاجات بنوية تختلف عن الأبوين + لأحد نواتج التبادل الوراثي تحتوي على الطفرة الزدوجة وهي لن تستطيع تكوين بلاكيات على خلايا بكتيريا القولون K12 E. coli بينما الناتج الآخر للتبادل الوراثي يكون الطراز البري الذي يستطيع تكوين بلاكيات على خلايا K12.



ب - الطفرتين عند مواقع مختلفة من المورث +

الناجمة عن استخدام مطفرات (مواد مطفرة) معينة لم يكن عشوائيا ، فلم تشترك أى مادتين مطفرتين فى تكوين نفس المواقع الساخنة . وكل مادة مطفرة أعطت توزيعا مختلفا للمطفرات على هذا المورث (rII).

ولا تمثل هذه المواقع الساخنة وجود قواعد نيتروجينية غير عادية ، فقد ثبت أن فاج تى ٤ يحتوى على القواعد الأربع المعروفة فقط . وقد توصل بنزر الى أن حساسية المواقع الساخنة للتطفر انما ترجع بالدرجة الأولى الى تأثير ترتيب القواعد النيتروجينية المجاورة للقواعد النيتروجينية فى المواقع الساخنة . وما زالت طبيعة هذا التأثير غير معروفة حتى الآن .

وقد استخدمت طريقة بنزر فى بناء الخرائط الوراثية للفاج فى تشكيل الخرائط الوراثية للأحياء الدقيقة الخلوية مثل البكتيريا ، ونسب على أساسها اختبارات وراثية هامة مثل اختيار سيس- ترانس Cis-trans test.

أنواع الطفرات فى الفاج:

Mutant types of Bacteriophage

تتكون طفرات عديدة لا يمكن كشفها فى الفاج ، كما تتكون طفرات قاتلة نتيجة لتأثيرها على صفة أساسية ، وكذلك تتكون طفرات يسهل كشفها نتيجة حدوث تغيرات فى الشكل الظاهري للبلاكات Plaque morphology أو تعديل المدى العوائلى التى يمكن أن يصيبها الفاج . Alteration in host range

عندما تغزو السلالة البرية Wild type لفاج تى ٤ بكتيريا القولون السلالة الحساسة وهي *E. coli* strain B تحت ظروف مضبوطة بعناية فإن البلاكات الناتجة تظهر متجانسة وذات خواص مميزة ومحددة ، فهي صغيرة ولها حواف غير واضحة Fuzzy وغير منتظمة .

ولكن عند فحص عدد من البلاكات للسلالة البرية لفاج تي ٤ يلاحظ دائما وجود عدد قليل من البلاكات لا تنطبق عليه هذه الصفات، فاذا أخذت البلاكات ذات الصفات المخالفة واستخدمت لاصابة خلايا جديدة من السلالة ب B لبكتيريا القولون تظهر معظم البلاكات الجديدة بصفات لا تماثل السلالة البرية لفاج تي ٤ ولكن تظهر بصفات مماثلة للبلاكات ذات الصفات المخالفة ، وبذلك يمكن استنتاج أن البلاكات ذات الصفات المخالفة هي في الحقيقة تمثل طفرة وراثية حقيقية ، والجدول (١٨-٢) يوضح عددا الطفرات الوراثية الحقيقية التي أمكن عزلها من مجموعة فاجات تي ذات الأرقام المزدوجة T even phage.

ويجب الإشارة الى أن نواتج معظم المورثات في الفيروسات هامة جدا لتكوين فيروسات كاملة طبيعية . وبالرغم من أنه يمكن تحمل درجة محدودة من التغيرات (الطفرات) في بعض المورثات مثل مورثات الغطاء البروتيني أو بعض الانزيمات الفيروسية ، إلا أن معظم الطفرات تمنع تكوين أو بناء جزيئات فيروسية طبيعية .

وقد أمكن التوصل الى نوع من الطفرات تسمى الطفرات الميمنة المكيفة الشروط Conditionally expressed lethal mutation مثل :

(١) الطفرات الحساسة للحرارة Heat sensitive mutations وهذه الطفرات لا تعطل المورث كلية ولكنها تؤدي الى انتاج بروتين حساس للحرارة العالية ، بحيث يعمل المورث بصفة طبيعية على درجة الحرارة المنخفضة ٣٠°م ويتعطل عمله على درجة حرارة مرتفعة ٤٠°م .

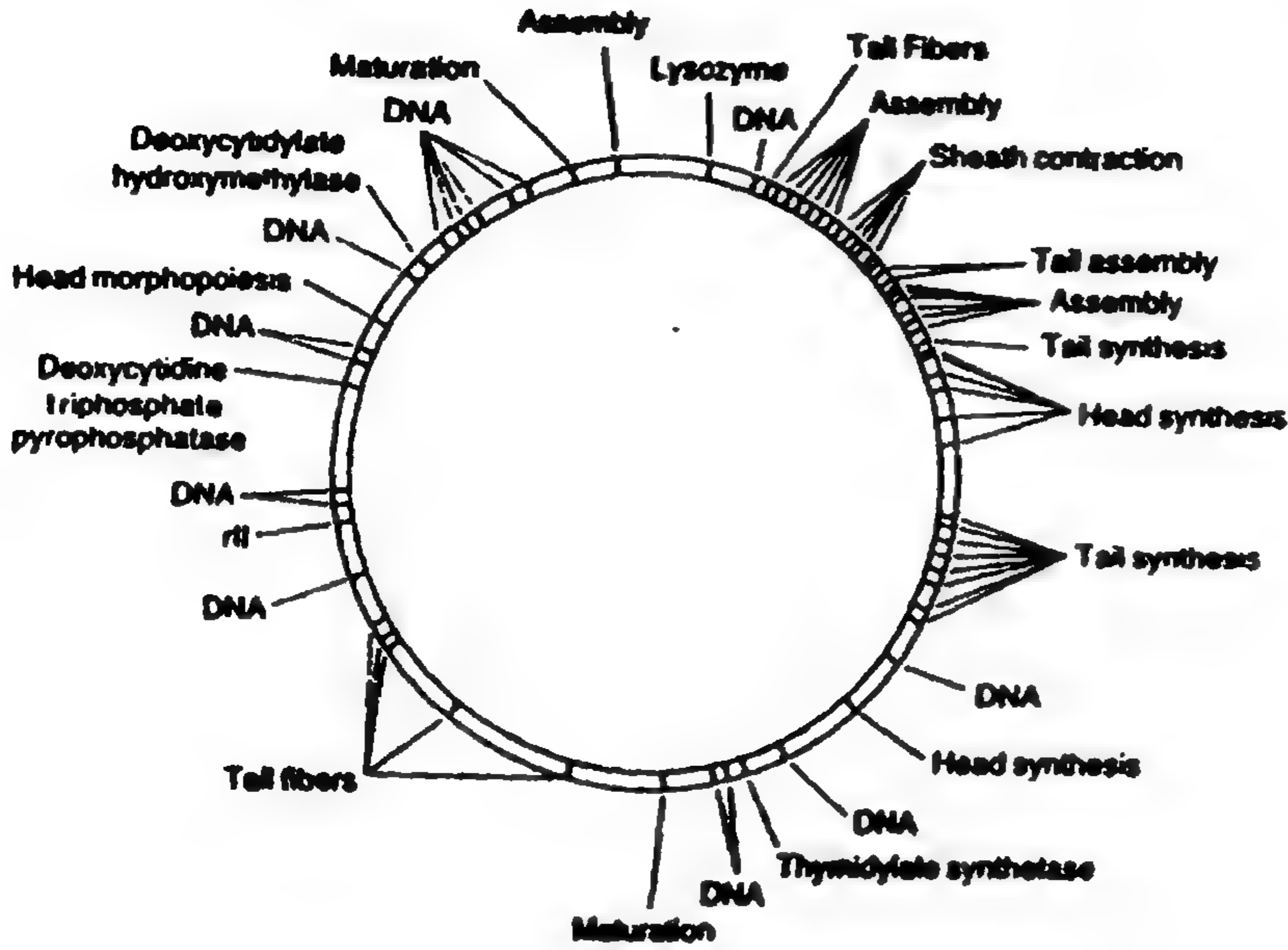
(٢) الطفرات التي تؤدي الى تكوين شفرة خالية من المعلومات Nonsense mutation وهي UGA, UAG, UAA في بروتينات أساسية مثل بروتينات الرأس head protein في فاج تي ٤ . وقد استعملت شفرة UAG بصفة خاصة وتسمى Amber codon في تثبيط بناء بروتين

جدول ١٨-٢ : بعض أنواع طفرات فاجات تي ذات الأرقام المزدوجة

نوع الطفرة Type	المعطات الظاهرية Phenotype	التأثير الأساسي للطفرة Primary effect of mutations
تحليل سريع Rapid lysis	بلاكات كبيرة بحواف حادة	غير معروف
تكوين بلاكات صغيرة minute	بلاكات صغيرة جدا	بناء مكونات الفاج ببطء
اتساع المدى المضيف Host range	تمتد وتصاب سلالات بكتيرية مقاومة للإصابة بالسلالة البرية للفاج .	تعديل في السلاسل الببتيدية للحماض الدهنية .
الاحتياج للعامل المساعد Cofactor-requiring	تحتاج عامل مساعد مثل الترينولان للامتزاز على الخلية المائل .	ليطات دهنية غير هاديسية تتطلب الترينولان .
المقاومة لمضاد أكريفلافين Acridflavin-resistant	تكون بلاكات على آجار يحتوى على صبغة أكريفلافين بتركيزات قاتلة للسلالة البرية من الفاج	تحدث تعديلا في الغشاء الخلوي للخلية المائل بحيث لا يسمح بمرور الأكريفلافين .
الصدمة الأسموزية Osmotic shock	تتحمل التخفيف السريع من ٢ مولر كلوريد الصوديوم إلى ماء مقطر	تعديل بروتين الرأس ليكسون أكثر نشاطا .
ليسوزايم Lysozyme	لا تنتج حالة حول البلاكات	بناء ليسوزايم غير فعال .

الرأس بصفة خاصة ، وهذين النوعين من الطفرات المميته المكيفة
الشروط قد أمكن إيجادها تقريبا لكل المورثات في فيروس تي ٤ وقد
أمكن باستخدام هذه الطفرات بناء خريطة وراثية باستخدام اختبارات

التبادل الوراثي التي استعملها بنزر والشكل (١٨-١١) يوضح خريطة مبسطة لكروموسوم الفاج تى ٤ . وكما يلاحظ فيها أن الجينات التي تتحكم فى صفة معينة من صفات الفيروس تتجمع فى تجمعات clusters.



شكل ١٨-١١ :
الخريطة الوراثية
لفاج تى ٤

الديناميكية الوراثية للفيروسات

ان المادة الوراثية للفيروسات المتضاعفة تكون دائما فى حالة ديناميكية مثلها فى ذلك مثل أى مجتمع من خلايا الأحياء الدقيقة النامية ، وذلك من حيث وجود أنواع من الطفرات المختلفة . ويوجد عاملان يؤثران فى هذه الديناميكية وهما :

- أ- معدل التطفر Mutation rate : وهو قيمة ثابتة .
- ب- ومعدل الانتخاب للطفرات mutation frequency وهو قيمة متغيرة ويتوقف على معدل التطفر .

وعلى سبيل المثال ... عند إصابة سلالات ب B لبكتيريوسا القولون الحساسة بواسطة فاج تى ٢ فان معظم الخلايا تصاب وتتفجر

وتنتج فيروسات جديدة ، ولكن نسبة صغيرة من الخلايا (طفـرات) تصبح مقاومة لاصابة الفاج Phage-resistant mutants .

وهذه الخلايا (الطفرات) المقاومة للغزو بالفاج اكتسبت مقاومتها للفاج نتيجة لتطفر مواقع الاستقبال في سطحها بحيث أنها لا تمتز الفيروسات (السلالة البرية لفاج تي ٢) ومن السلالة ب B لبكتيريا القولون الحساسة للغزو بالسلالة البرية Wild Type لفاج تي ٢ T_2 . يمكن عزل طفرة بكتيرية تقاوم الغزو بالسلالة البرية لفاج تي ٢ ، ويرمز لهذه الطفرة بالرمز ب / ٢ (B/2) تميزا لها عن السلالة البرية الحساسة للغزو بالفاج المذكور . وعلى ذلك فان السلالة ب / ٢ تقاوم الغزو بالسلالة البرية لفاج تي ٢ نتيجة لطفرة في بروتينات موقع استقبال الفاج على سطح الخلايا .

عند حقن 10^6 (مليون) فاج تي ٢ أو أكثر من ذلك على طبقة من الطفرة البكتيرية المقاومة للغزو ب / ٢ (B/2) فانه يظهر على الأطباق عدد من البلاكات — على عكس توقعاتنا . وعند عزل وتنقية الفيروسات من هذه البلاكات الجديدة وجد أنها طفرات نتج عنها اتساع المدى العوائلي Host-range mutants وهذه الطفرات تستطيع الآن غزو سلالات البكتيريا ب / ٢ (B/2) وكذلك سلالات البكتيريا B بمعنى أن الطفرة الفيروسية المتحصل عليها وسعت مدى العوائل التي تصيبها . وهذه الطفرة تمثل تغيير زوج Base-pair واحد من القواعد النيتروجينية في المورث الذي يتحكم في تركيب بروتينات الليفسات الذيلية Tail fiber وهي عبارة عن أعضاء الامتزاز الخاصة بفاج تي ٢ وهذه الطفرة الفاجية الجديدة رمز لها بالرمز ت ٢ هـ (T_2h) .

عند حقن البكتيريا ب / ٢ (B/2) بالفاج الجديد ت ٢ هـ (T_2h) يمكن عزل سلالة بكتيرية جديدة مقاومة للغزو بهذا الفاج ت ٢ هـ (T_2h) وهكذا تتكرر الدورة كلها بعزل طفرات اتساع المدى العوائلي من الفاجات وعزل طفرات بكتيرية مقاومة لها .

وفيما يبدو أن أى تعديل فى طريقة تركيب configuration بروتين مواقع الاستقبال على سطح الخلية البكتيرية يمكن مقابله بتغيير مائل فى بروتينات أعضاء الامتزاز للفاج . وفى الطبيعة تؤدي هذه القدرة على التطفر لكل من البكتيريا والفاجات الخاصة بها الى امكانية تواجدهما سويا ، فعند أى لحظة تتواجد كلا الخلايا الحساسة للاصابة بالفيروسات ، كما تتواجد الخلايا المقاومة لهذه الاصابة ، كما تتواجد الفيروسات القادرة على الاصابة والفيروسات غير القادرة على الاصابة .

ومن ذلك ، توصلنا الى أنه لا يمكن النظر الى الفيروسات على أنها ثابتة وراثيا بل أنها متغيرة باستمرار حتى وان كانت الفيروونات (الطور الخارجى للفيروسات) تظل ثابتة ودون تغيير خارج الخلايا .

نقل الصفات الوراثية بالحمل بالفاج

Transduction By Bacteriophage

اكتشفت ظاهرة النقل بالحمل بالفاجات ، أى نقل الصفات الوراثية البكتيرية بواسطة الفاج Transduction صدفة عندما كان زندر وليدريج Zender & Lederberg فى عام ١٩٥٢ م يحاولان معرفة ما اذا كان هناك تزواج Conjugation بين سلالتين من بكتيريا السالمونيلا Salmonella . فقد قاما هذان العالمان بخلط السلالتين البكتيريتين وزرعهما على مستنبت غذائى لا يسمح لأيهما منفردة بالنمو ، ولكن تسمح لخلطة وراثية recombinant منهما معا بالنمو ، وذلك لانتخاب بكتيريا تجمع الصفات الوراثية للسلالتين Recombinant . وقد تمكنا فعلا من عزل بعض البكتيريا التى تحمل الصفات الوراثية لكلا السلالتين بمعدل ظهور منخفض Low frequency .

وفى سلسلة من التجارب أثبت زندر وليدريج أن الخلط الوراثى لم يتم نتيجة للتزواج بين السلالتين الأبويتين ، ولكن على العكس من ذلك ، إتضح أن أحد السلالتين الأبويتين Parental strain

أفرزت جسيمات فاج معتدلة Temprate phage وأن هذه الجسيمات أصابت السلالة الأبوية الثانية . وبالطبع فإن عددا كبيرا من خلايا السلالة الأبوية الثانية انفجر نتيجة للإصابة ، ولكن عددا من خلايا تلك السلالة الأبوية الثانية تحمل الإصابة ، بل وعاش وتكاثر على المستوى المستتب الغذاء الذى لم يكن يسمح لها بالنمو قبل الغزو بالفاج ، واتضح من ذلك أن الخلايا التى عاشت ونمت لا بد وأن تكون قد استقبلت قطع من المادة الوراثية للخلية الأبوية الأولى عن طريق جسيم الفاج .

والخلية الأبوية الأولى التى أعطت جزءا من مادتها الوراثية تسمى الخلية المعطية Donor cell أما الخلية الأبوية الثانية التى استقبلت جزءا من المادة الوراثية فتسمى الخلية المستقبلة Recipient cell والمادة الوراثية الجديدة التى أضيفت للخلية المستقبلة كثيرا ما تسمى المادة الوراثية الأجنبية Exogenote وذلك تمييزا لها عن المادة الوراثية الأصلية Endogenote للخلية المستقبلة ، وقد سميت ظاهرة انتقال صفات وراثية من خلية بكتيرية الى خلية بكتيرية أخرى بواسطة فاج باسم (النقل بالحمل فالفاج) Transduction .

لذلك ... ففي هذه العملية تدمج قطعة من كروموسوم بكتيرى داخل جسيم فاج (فيريون كامل) وعندما يغزو هذا الفيريون خلية عائل جديدة فإنه يحقن المادة الوراثية من الخلية السابقة (المعطية) فى الخلية العائل الجديدة (المستقبلة) ... وهذه الخلية المستقبلة تصبح ثنائية المجموعة الصبغية (لعدد من المورثات التى أدخلت اليها بواسطة الفاج) بصفة جزئية Partial diploid .. وتسمى الخليية المستقبلة فى هذه الحالة زيجوت جزئى Merozygote, partial zygote .

وهذا الفاج الذى اكتشفه زندر وليدريج هو الفاج بي ٢٢ (P22) وهو ينقل أى مورث من مورثات البكتيريا Salmonella بدرجة متساوية مع المورثات الأخرى لهذه البكتيريا . لذلك يعرف هذا النوع لنقل

المورثات البكتيرية باسم (النقل بالحمل العام) للصفات الوراثية بالفاج Generalized transduction ومن أمثلة الفاجات التي تقوم بهذا النوع من النقل الفاج ٢٢ (P22).

أما النوع الآخر لنقل الصفات الوراثية بواسطة الفاج فهو شائع في كلا من البكتيريا *E. coli* و *Salmonella* وتقوم به فاجات معتدلة أخرى مثل فاج لامدا *Lambda* والذي يرمز له بالرمز λ . وهذا النوع من الفاجات لا ينقل كل المورثات البكتيرية بدرجة متساوية ولكن وجد أن هذا الفاج ينقل مورثات (صفات وراثية) خاصة من الخلية الممطرة الى الخلية المستقبلية ، وأكثر المورثات التي ينقلها هي المورثات المسئولة عن بناء البيوتين ويرمز لها بالرمز (Bio) أو المورثات المسئولة عن تمثيل الجالكتور ... ويرمز لها بالرمز (Gal).

وفي نفس الوقت ... فقد وجد أن كروموسوم لامدا عند وجوده في حال الفاج الأولى *Prophage* يحتل موقعا ثابتا على كروموسوم الخلية البكتيرية بين موقع مورثات الجالكتور (جال) والبيوتين (بيو) السابق الذكر ... وبذلك فإن هذا الفاج ينقل المورثات القريبة من موقع اندماجه على كروموسوم الخلية بأعلى نسبة . وتقل نسبة انتقال المورثات الأخرى بواسطة هذا الفاج كلما بعدت عن موقع اندماج الفاج مع كروموسوم الخلية . ولذلك يسمى انتقال المورثات (الصفات الوراثية) في هذه الحالة النقل الخاص للصفات الوراثية بالفاج *Specialized transduction*.

والنقل بالحمل بالفاج للصفات الوراثية *Transduction* معروف في الأنواع المختلفة من مجموعة البكتيريا المعروفة *Enteric bacteria* وكذلك في بعض أجناس سودومonas و *Pseudomonas* وستافيلوكوكس *Staphylococcus* وباسيلس *Bacillus* . وحيث أن معظم أنواع البكتيريا وأجناسها يحتوي الفاجات المعتدلة *Temperate phages* فان نقل الصفات الوراثية بواسطة الفاجات تبدد أكثر الوسائل المتبعة لتكوين الخلطات الوراثية *Genetic recombinant* في البكتيريا .

وذلك بعكس الطرق الأخرى لتكوين الخلطات الوراثة recombination في البكتيريا مثل التزاوج Conjugation وكذلك نقل الحمض النووي دن أ خلال سطح الخلية والمعروف باسم النقل المباشر للصفات الوراثية Transformation.

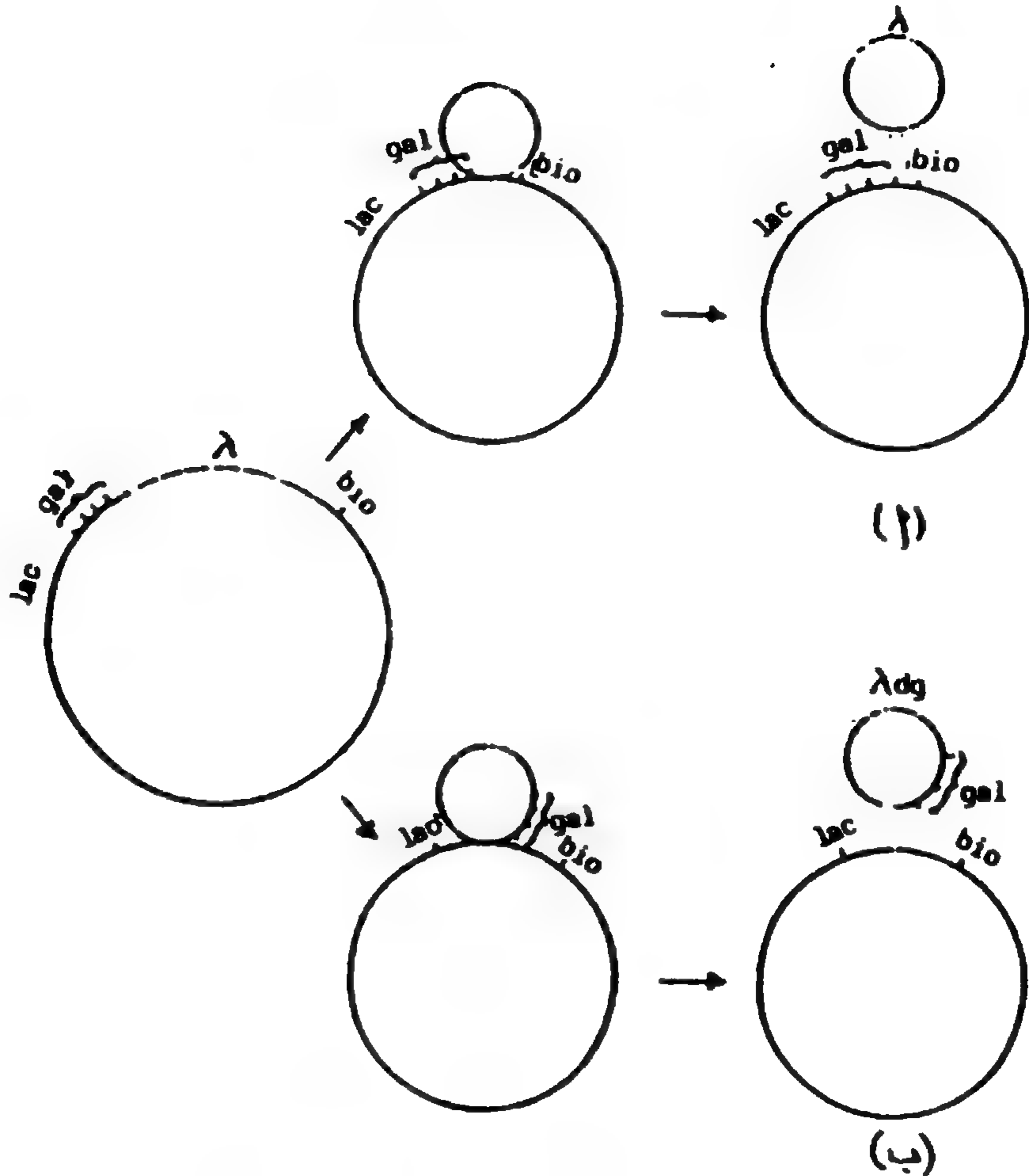
وهاتين الطريقتين لتكوين الخلطات الوراثة لم يكتشفا الا فى عدد قليل من البكتيريا .

ميكانيكية حدوث النقل بالحمل الخاص للصفات الوراثية بالفاج :

The mechanism of specialized transduction

فى مزرعة بكتيريا القولون المعروفة E. coli ذات القدرة الكامنه على التحلل lysogenic تحتوى كل خلية من خلاياها على نسخة من الفاج لامدا (λ) فى صورة فاج أولى Prophage مدمج مع كروموسوم الخلية بين موقع مورثات الجالكتور (Gal) والبيوتيسين (Bio) وعند تعريض هذه المزرعة لظروف حث Induction معينة تؤدي الى تحول الفاج الأولى الى الحالة الخضرية فان الفاج الأولى - عادة - ينفصل من كروموسوم الخلية بواسطة عملية عكسية لعملية الاندماج فى النقط الطبيعية لاتصاله مع كروموسوم الخلية ثم يبدأ فى مضاعفة نفسه الى أن تتكون فيروسات كاملة وتتفجر الخلية لتنتج فيروسات عادية . ولكن فى حالات نادرة عند تعرض خلية ذات القدرة الكامنه على التحلل لظروف الحث Induction فان الفاج الأولى ينفصل من كروموسوم الخلية ليس فى النقط الطبيعية لنقط اتصاله مع الكروموسوم بل فى أماكن أخرى ، فينتج عن ذلك تكون حلقات الحمض النووي دن أ DNA تحتوى على معظم كروموسوم لامدا مضافا اليه قطعة من كروموسوم الخلية من أحد جانبي نقط الاتصال مع الكروموسوم على حسب المكان الذى حدث فيه انفصال كروموسوم الفيروس عن كروموسوم الخلية (شكل ١٨ - ١٢) . ثم تتضاعف هذه المادة الوراثية وتكون فيروسات كاملة تنطلق عند ! عجبـ

الخلية . فاذا كانت القطعة المقتطعة من كروموسوم البكتيريا تشمل مورثات الجالكتوز (جال Gal) فان الفاجات الناتجة تسمى لامدا ناقصة ومحتوية على مورثات الجالكتوز λ defective carrying gal loci ويرمز لها بالرمز λ dg .



شكل ١٨-١٢ : تكوين جسيمات
فاج لامدا ناقصة ومحتوية على
مورثات الجالكتوز :

ب - تنتهي بتكوين جسيمات لامدا
ناقصه ومحتوية على مورثات
الجالكتوز λ dg .

أ - تنتهي بتكوين جسيمات لامدا
طبيعية (السلالة البرية)

أما إذا كان قطعة الحمض النووي دن أ المقتطعة من كروموسوم البكتيريا تشمل مورثات البيوتين (Bio بيو) فان الفاجات الناتجة تسمى لامدا ناقصة ومحتوية على مورثات البيوتين λ defective carrying bio loci ويرمز لها بالرمز λ d bio .

وحيث أن كمية دن أ التي يمكن تعبئتها في الغطاء البروتيني لرأس الفاج لامدا ثابتة ومحدودة فان اضافة مورثات الجالكتوز أو مورثات البيوتين تعنى ضرورة استبعاد جزء من مورثات لامدا من الطرف الآخر للمادة الوراثية للفيروس . وهذا يشرح لماذا يجب أن تكون الفاجات الناقلة لصفات وراثية تكون دائما ناقصة defective كما أنه يفسر لنا أيضا لماذا لا يمكن الحصول على فاجات لامدا ناقلة للصفات الوراثية Transducing particles محتوية على كلا من مورثات الجالكتوز والبيوتين في نفس الفيروس .

فاذا كانت مزرعة البكتيريا ذات القدرة الكامنة على التحلل تحتوى مورثات جالكتوز عاملة ، وهو ما سنعبّر عنه بالرمز gal^+ . فعند تعريضها لظروف حث Induction فان الفيروسات لنتيجة تحتوى على واحد جزئى فاج لامدا ناقصة ويحمل مورثات الجالكتوز λ dg لكل ١٠ جسيمات فاج طبيعى .

وعند استخدام هذه الفاجات lysate لاصابة خلايا مزرعة ليس لها قدرة كامنة على التحلل Non lysogenic culture ولا تستطيع تمثيل الجالكتوز (gal^-) لأن مورثات الجالكتوز بها غير عاملة (لوجود طفرة بها مثلا) فان بعض خلايا هذه المزرعة ستصاب بفاجات لامدا الناقصة والحاملة لمورثات الجالكتوز λ dg حيث يندمج كروموسوم هذه الفاجات الناقصة والمحتوى على مورثات gal^+ (عاملة) مع كروموسوم الخلية البكتيرية والذي يحتوى على مورثات gal^- (غير عاملة) وبذلك تصبح الخلية مزدوجة المجموعة الكروموسومية Partial diploid لموقع الجالكتوز gal^- / gal^+ وتتحول الخلية بذلك من خلية غير قادرة على تمثيل الجالكتوز الى خلية قادرة على تمثيل الجالكتوز بفضل المورثات

التي حملت اليها بواسطة الفاج ، لذلك فان النقل بالحمل الخاص للصفات الوراثية بالفاج specialized transduction يشمل اضافة كروموسوم الفاج الأولى Prophage الناقص والمحتوى على قطعة من دنأ من الخلية المعطية Donor cell.

الحمل الخاص للصفات الوراثية بكفاءة عالية :

High frequency specialized transduction

عند اصابة infection خلايا البكتيريا غير القادرة على تمثيل الجالكتوز gal^- بعدد كبير من الفاجات High phage multiplicity بحيث أن كل خلية تصاب بالفاج λdg لامدا الناقص والحامل لمورثات جال gal^+ تصاب أيضا بفاج لامدا عادي λ فان هذه الخلية تصبح ذات قدرة كامنه مزدوجة على التحلل Double lysogen تحمل كلا من الفاج الأولى العادي λ والفاج الأولى الناقص λdg عند عزل هذه الخلايا ذات القدرة الكامنة المزدوجة وتنميتها تكون مزرعة culture من خلايا مزدوجة القدرة الكامنة على التحلل Double lysogen.

وعند تعريض هذه الخلايا لظروف (حث induction) تسمح بتحول الفاج الأولى Prophage الى مرحلة التضاعف الخضري vegetative state فان المادة الوراثية لفاج لامدا λ الطبيعي تسد النقص في المادة الوراثية لفاج لامدا الناقص λdg وينتج عن ذلك تكون كلا النوعين من فاج لامدا الطبيعي λ والناقص λdg بأعداد متساوية في خلاصة تحلل الخلايا Lysate.

وعند استخدام خلاصة تحلل الخلايا Lysate المذكور لاصابة خلايا لا تستطيع تمثيل الجالكتوز gal^- فان نصف الفاجات في هذه الخلاصة الأخيرة تنقل مورثات الجالكتوز gal العاملة الى الخلايا وتحولها بذلك من خلايا غير قادرة الى خلايا قادرة على تمثيل الجالكتوز gal^+ وتسمى هذه الظاهرة باسم حمل الصفات الوراثية بكفاءة عالية High frequency transduction.

ميكانيكية حدوث النقل بالحمل العام للصفات الوراثية بالفاج

The mechanism of generalized transduction

تختلف جسيمات الفاج التي تقوم بالنقل بالحمل الخاص للصفات الوراثية Specialized transduction^{tion} عن جسيمات الفاج التي تقوم بالنقل بالحمل العام للصفات الوراثية Generalized transduction في أن الحمض النووي د ن أ البكتيري يكون مرتبطا بمعظم المادة الوراثية (الحمض النووي د ن أ) الفيروسية ارتباطا متكافئا covalently في جسيمات الفاج التي تقوم بالحمل الخاص للصفات الوراثية. أما جسيمات الفاج التي تقوم بالنقل بالحمل العام للصفات الوراثية generalized transduction فإنها تحتوي على جزء صغير فقط من المادة الوراثية الفيروسية (الحمض النووي د ن أ) وعادة لا تحتوي على أى مادة وراثية فيروسية على الإطلاق وتحتوى على الحمض النووي د ن أ البكتيري مغلفا بغطاء بروتينى فيروسي.

لذلك ... فان خلاصة الخلايا المنفجرة (المتحللة) lysate الناتجة عن غزو فاجات النقل بالحمل العام للصفات الوراثية تحتوى على نوعين من الفاجات:

(١) فاجات طبيعية normal ... وهى تشكل الأغلبية الكبيرة من أعداد الفاجات فى الخلاصة وتحتوى على الحمض النووى د ن أ الفيروسي فقط.

(٢) الفاجات الناقلة للصفات الوراثية Transducing particles ... وهى تشكل الأقلية وتحتوى بداخلها على الحمض النووى د ن أ البكتيري بصفة أساسية.

وهذا الفرق فى طبيعة الحمض النووى د ن أ فى كلا من جسيمات الفاج الناقلة بالحمل العام مثل فاج بي p_1 وجسيمات الفاج الناقلة بالحمل الخاص للصفات الوراثية مثل فاج لامدا ناتج عن الطريقة التى يتكون بها كل منهما.

فالمادة الوراثية للفاجات الناقلة بالحمل العام للصفات الوراثية مثل فاج بي P_1 لا تتكامل مع كروموسوم البكتيريا، بل تظل منفصلة كبلازميد مستقل *autonomous plasmid* والفاج بي P_1 مثل غيره من الفاجات المعتدلة *Temperate phages* قد يدخل في دورة التضاعف الخضرى *Vegetative cycle* فيتضاعف مباشرة بعد غزوه الخلايا وينتج فيروسات جديدة تعيد الدورة أو يدخل الدورة الكامنة للتحلل *Lysogen-ic cycle* وفيها تظل المادة الوراثية للفاج في حالة كامنة (فاج أولى *prophage*) دون أن تندمج مع كروموسوم الخلية (كما سبق شرحه في بداية هذا الباب) وعند تحول الفاج الأولى الى الحالة الخضرية تنكسر المادة الوراثية البكتيرية (كروموسوم الخلية) الى قطع من الحمض النووى دن أ وكل قطعة تحمل عددا من الصفات الوراثية (المورثات) . هذه القطعة من الحمض النووى البكتيرى والتي تحمل واحدة أو أكثر من الصفات الوراثية البكتيرية للخلية المعطية *donor cell* تأخذ غطاءاً بروتينياً فيروسياً (محفظة *Capsid*) وتكون جسيمات فيروسية ناقلة بالحمل العام لصفات وراثية بكتيرية ، وذلك نظراً لأن هذه الجسيمات قد تحمل أى قطعة من المادة الوراثية البكتيرية (الكروموسوم البكتيرى) .

وعندما تغزو هذه الفاجات (الناقلة بالحمل العام لقطع من المادة الوراثية البكتيرية من الخلايا المعطية) *Transducing particle* خلايا جديدة (خلايا مستقبلة *Recipient cell*) فان الخلايا الجديدة تكسب بعض الصفات الوراثية للخلية المعطية . ولكن المادة الوراثية لتلك الفاجات الناقلة (وهى مادة وراثية بكتيرية) لا تتضاعف فى الخلية الجديدة ولا تؤدى الى انفجار الخلية كما هو الحال عندما تغزو فيروسات طبيعية خلايا حساسة .

وكما يلاحظ هنا أن المادة الوراثية الموجودة داخل جسيمات الفاج الناقلة بالحمل العام للصفات الوراثية هى أصلاً من أصل بكتيرى وليست من أصل فيروسى ، وهذا ما يحدث فعلاً بعكس الحال فى الفاجات الناقلة بالحمل الخاص والتي تكون معظم المادة الوراثية بها من أصل

فيروس مرتبط بها قطعة من المادة الوراثية البكتيرية ارتباطا متكافئا .

ونتيجة لذلك فان الفاجات الناقلة بالحمل الخاص للصفات الوراثية مثل فاج لامدا (λ) تنقل الصفات الوراثية القريبة من موقع اتصال المادة الوراثية للفاج مع كروموسوم الخلية — اما الفاجات الناقلة بالحمل العام للصفات الوراثية فانها قد تحمل أى قطعة من كروموسوم الخلية ، وبذلك فهي تنقل أى مورث (صفة وراثية بكتيرية) أو بمعنى آخر نقل جميع مورثات الخلية العائل بدرجة متساوية ، كما أن الفاجات الناقلة بالحمل العام للصفات الوراثية تتكون سواء دخلت المادة الوراثية الفيروسية فى مرحلة التضاعف الخضرى vegetative cycle أو دخلت مرحلة الفاج الأولى prophage ثم عمل لها حث Induction .

ومما هو جدير بالذكر أن فاج لامدا (λ) وهو من الفاجات الناقلة بالحمل الخاص للصفات الوراثية لا يكون جسيمات ناقلة للصفات الوراثية اذا لم يدخل فى مرحلة الفاج الأولى prophage . فاذا تم غزو خلايا حساسة للفاج لامدا (λ) بحيث تبدأ دورة التحلل lytic cycle مباشرة (ودون تحول الخلية الى خلية ذات قدرة كامنة على التحلل lysogenic) فان جزئيات لامدا الناقصة والحاملة لمورثات الجالكتوز (λ_{dg}) أو البيوتين ($\lambda_{d\ bio}$) لا تتكون اطلاقا . ولكن لتكوين هذه الفاجات الحاملة للمورثات الخاصة λ_{dg} أو $\lambda_{d\ bio}$ فلا بد أن تدخل المادة الوراثية للفاج الى حالة الفاج الأولى prophage ثم تعرض الخلايا لظروف حث تؤدي الى تحول الفاج الأولى الى فاج خضرى .

بعض الفاجات مثل فاج بي ٢٢ (P22) يستطيع أن يعمل كناقل بالحمل العام أو ناقل بالحمل الخاص للصفات الوراثية البكتيرية . فهذا الفاج (بي ٢٢) يعمل كناقل عام عندما يؤدي غزو الخلايا الى دورة التحلل مباشرة lytic cycle . وفى هذه الحالة لا يندمج الحمض النووى الفيروسى مع الحمض النووى البكتيرى . بل يتم تضاعف الفاج مباشرة وتتكرر

قطع الحمض النووي البكتيري ، ثم تغلف قطع منه بغطاء بروتيني تنطلق عند اندجار الخلايا مع الفيروسات العادية . وهذه عند غزوها لخلايا جديدة تنقل أى صفة وراثية بكتيرية الى الخلايا الجديدة بدرجـة متساوية .

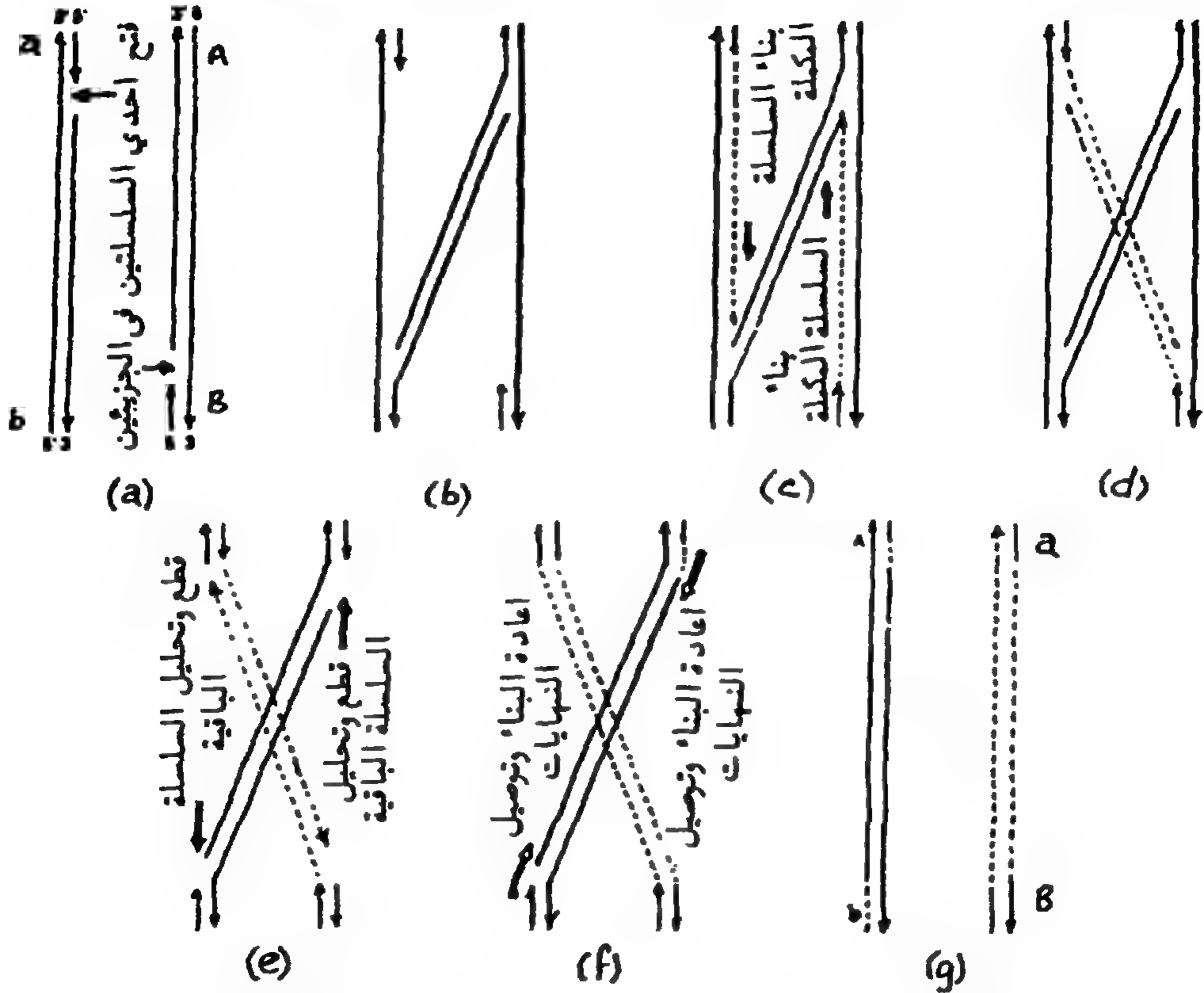
وكذلك يعمل فاج بي ٢٢ (p22) كناقل بالحمل الخاص للصفات الوراثية البكتيرية عندما يؤدى غزو الخلايا به الى دورة القدرة الكامنة على التحلل Lysogenic cycle حيث تندمج المادة الوراثية للفاج مع المادة الوراثية للخلية البكتيرية . وعند تعريض هذه الخلايا لظروف (حث induction) تؤدى الى تحول الفاج الأولى الى مرحلة التضاعف الخضري فان بعض جزيئات الفاج التى تتكون تحمل بعض الصفات الوراثية القريبة من موقع اتصال (اندماج) الفاج الأولى مع كروموسوم الخلية .

اندماج المادة الوراثية الأجنبية مع المادة الوراثية الأصلية (الداخلية) :

فى كلا الحالتين السابقتين (الحمل العام والخاص للصفات الوراثية بواسطة الفاج) فان المادة الوراثية الأجنبية (الخارجية) Exogenote القادمة من خارج الخلية غالبا ما تندمج مع المادة الوراثية الأصلية الداخلية (البكتيرية) Endogenote ... وهذه المادة الوراثية الأجنبية قد تكون عبارة عن مادة وراثية بكتيرية قادمة من خلية معطية عن طريق فاجات النقل بالحمل العام للصفات الوراثية ، وقد تكون هذه المادة الوراثية الأجنبية مكونة من مادة وراثية فيروسية متحدة بمادة وراثية بكتيرية كما سبق فى فاجات النقل بالحمل الخاص للصفات الوراثية .

وعندما تندمج المادة الوراثية الخارجية exogenote مع المادة الوراثية الداخلية يتكون كروموسوم مختلط وراثيا Recombinant chromosome بواسطة العملية المعروفة باسم العبور الوراثى أو الاتصال المزدوج Crossing over (شكل ١٨-١٣) فى أماكن متشابهة فى تسلسل القواعد على كلا المادتين الوراثيتين المندمجتين ، ويتكون زيجوت جزئى

partial zygote أو merozygote يلي ذلك انحلال degradation للمورثات غير العاملة ويتم تكوين وانعزال segregation لخلايا أحادية المجموعة الصبغية ذات صفات وراثية مختلطة Recombinant haploid.



شكل ١٨-١٣ : الخطوات الافتراضية لحدوث العبور الوراثي لجزيئين من الحمض النووي DNA

النقل بالحمل الاجهاضى للصفات الوراثية

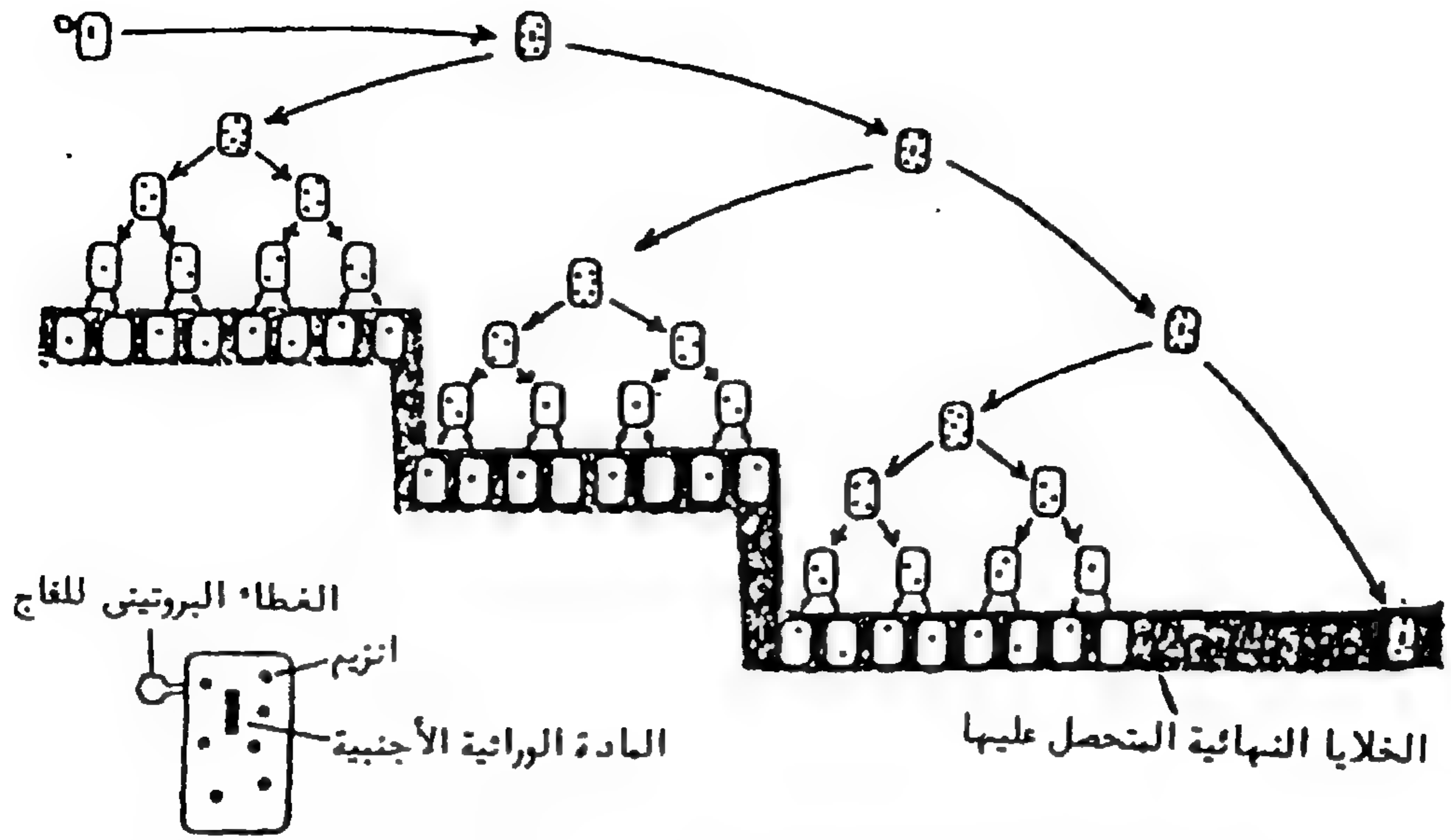
: Abortive transduction

في كثير من الحالات تندمج المادة الوراثية الخارجية مع المادة الوراثية داخل الخلية البكتيرية مثل ما يحدث في كلا من النقل بالحمل العام والخاص للصفات الوراثية .

ولكن فى حالات قليلة لا تندمج المادة الوراثية الخارجية مع المادة الوراثية الداخلية ولا تتضاعف أيضا ولا تتحلل ، بل تبقى كجزئ " دن أفى " حالة مستقلة Autonomous تعمل المورثات الموجودة فيه على سد النقص فى مورثات الخلية المستقبلية . وعندما ينقسم الزيجوت الجزئى يعطى خليتين أختين daughter cells أحدهما تحتوى المادة الوراثية الخارجية والثانية لا تحتوى على نسخة من هذه المادة الوراثية الخارجية . فإذا فرض أن المادة الوراثية الخارجية تحتوى على المورثات المسئولة عن بناء الحمض الأمينى الهستدين (his^+) واستقبلت فى خلية لا تستطيع بناء الهستدين (his^-) أو بمعنى آخر تكون مورثات الهستدين فى المادة الوراثية الداخلية endogenote غير عاملة .

عند استقبال الخلية للمادة الوراثية الخارجية (المحتوية على مورثات الهستدين العاملة تصبح الخلية (his^+/his^-) heterozygous وثنائية المجموعة الصبغية بالنسبة لمورثات الهستدين ، وتبدأ فى إنتاج الانزيمات المسئولة عن بناء الهستدين وبذلك يمكنها النمو على مستنبت غذائى (بيئة medium) خالى من الهستدين ، وعند انقسامها فان إحدى الخليتين الأختين لا تحتوى على نسخة من المادة الوراثية الأجنبية exogenote وهذه تنمو لفترة محدودة على ما بقى بها من انزيمات بناء الهستدين التى تسلمتها من الخلية الأم ثم تتوقف عن النمو ، أما الخلية الأختية الأخرى فهى تحتوى نسخة المادة الوراثية الأجنبية المحتوية على مورثات الهستدين العاملة ، وبذلك فهى تنمو طبيعياً على المستنبت الذى لا يحتوى على هستدين الى أن تنقسم ثانية وتتكرر هذه الدورة (شكل ١٨-١٤) .

ويكون نتيجة ذلك تكون مستعمرة صغيرة تنمو ببطء Slow growing minute colony والتى ترى بصعوبة بعد عدة أيام من النمو . وعند إعادة التخطيط restreaking من هذه المستعمرة على مستنبت خالى من الهستدين أيضا نحصل أيضا على مستعمرة صغيرة تنمو ببطء أيضا وترى بصعوبة بعد عدة أيام من النمو حيث أن خلية واحدة فقط هى التى



شكل ١٨-١٤: الأحداث التي تتم في النقل بالحمل الاجهاضي للصفات الوراثية

تحتوى على مورثات الهستدين وهي التي تنقسم باستمرار، أما كل الخلايا الأختية الناتجة من الانقسامات فهي تنمو لفترة زمنية محدودة حتى ينتهي مخزونها من انزيمات بناء الهستدين ثم تتوقف حيث لا تستطيع تكوين انزيمات بناء هستدين بنفسها (شكل ١٨-١٤) ... وهذا ما يسمى بالنقل بالحمل الاجهاضي للصفات الوراثية Abortive transduction نظرا لأن حمل الصفات الوراثية يظل قاصرا على خلية واحدة، وهي الخلية التي تتسلم نسخة المادة الوراثية الأجنبية .

وبعض معلقات suspensions الفاج ينتج عنها عشرة أضعاف النقل الاجهاضي لمعلقات فاج أخرى . وينتج النقل بالحمل الاجهاضي للصفات الوراثية عندما يفشل حدوث اندماج بين المادة الوراثية الأجنبية والمادة الوراثية (الأصلية) الداخلية . ويمكن التغلب على هذا الفشل بالمعاملة بالأشعة فوق البنفسجية UV light للخلايا التي نقل إليها نسخة المادة الوراثية الخارجية (التي تكون المستعمرات الصغيرة

بطيئة النمو) . وقدرة الأشعة فوق البنفسجية على تحويل النقل الاجهاض للصفات الوراثية الى نقل وراثي عادي للصفات الوراثية يرجع الى قدرة هذه الأشعة على تنشيط stimulation حدوث عمليات الاندماج أو الاتصال المزدوج recombination في عدد من الأنظمة مزدوجة المجموعة الكروموسومية .

Phage conversion

التحويل الفاجي

يتم التحكم في عدد من الصفات الخلوية البكتيرية بواسطة مورثات فاج فقط ، لذلك فهذه الصفات البكتيرية لا تتكون الا في الخلايا ذات القدرة الكامنة على التحلل Lysogenic cells أو الخلايا المحتوية على نسخة من المادة الوراثية الفيروسية . ولا تتكون هذه الصفة الخلوية البكتيرية أبدا في الخلية الخالية من نسخة المادة الوراثية للفاج Phage free strain . وعلى سبيل المثال فان بكتيريا الدفتيريا المعروفة باسم Corynebacterium diphtheria تنتج المادة سامة toxin فقط عندما تحتوى على نسخة من المادة وراثية لفاج خاص بها ، فكل خلية تحتوى على نسخة من المادة الوراثية للفاج تنتج المادة السامة أما الخلايا الخالية من المادة الوراثية للفاج فهي لا تنتج المادة السامة ، كما لا يمكن تطهيرها لاكتسابها القدرة على انتاج المادة السامة . وبالمثل أيضا فان بعض المكونات الانتجينية الموجودة في الجدار الخلوي لبكتيريا السالمونيلا Salmonella تنتج فقط في الخلايا التي تحتوى على نسخة من المادة الوراثية لفاج خاص بهذه البكتيريا ... وتغيب هذه المكونات الانتجينية من جدار الخلية في غياب نسخة المادة الوراثية للفاج من الخلية . ويسمى اكتساب الخلية البكتيرية لصفات خاصة ناتجة عن مورثات فيروسية باسم التحول الفاجي Phage conversion ... ويختلف التحول الفاجي عن النقل الخاص للصفات الوراثية بالفاج ، فالتحول الفاجي يتم بواسطة مورثات فيروسية موجودة على المادة الوراثية الفيروسية لفيروس عادي تماما لا ينقصه شيء . أما النقل بالحمل الخاص للصفات الوراثية

بالفاج فهو يتم بواسطة مورثات بكتيرية منقولة أصلاً من خلية أخرى، كما أن هذه المورثات البكتيرية تكون مرتبطة بمادة وراثية فيروسية ناقصة (غير كاملة) ولا تستطيع اكمال دورة التحلل lytic cycle عند وجودها بمفردها في الخلية.

من المعلومات السابقة ... يمكن بسهولة القاء الضوء على عملية التطور على أساس أن كلا من كروموسوم البكتيريا والفاج قد نتجا عن أصل مشترك Common ancestor فقدرة مورثات بكتيرية على احلال محل مورثات فيروسية والعكس يعطى انطباعاً عن وجود علاقة قوية بين البكتيريا وفيروساتها.

العلاقة النظرية بين البلازميدات والفيروسات والكروموسومات البكتيرية

Phylogenetic relationship between plasmids, viruses and chromosomes

ان المادة الوراثية لكلا من الفيروسات والكروموسومات البكتيرية معروفة الآن للقارىء — أما البلازميدات فهي تتصف بالصفات التالية:

- ١- هي عبارة عن جزيئات من الحمض النووي دنأ حلقى مزدوج السلسلة
- ٢- لها القدرة على التضاعف مستقلة في الخلية العائل.
- ٣- بعضها ذو قدرة على الاندماج مع كروموسوم الخلية العائل أو الاندماج مع بعضها البعض. كما أن بعضها يتبادل الصفات الوراثية مع بعضها الآخر أو مع كروموسوم الخلية.

البلازميدات: هي عناصر وراثية غير كروموسومية مكونة من الحمض النووي دنأ — مزدوج السلسلة توجد في سيتوبلازم بعض أجناس البكتيريا وقد تندمج مع الكروموسوم وقد تبقى في صورة مستقلة عنه. وهي تتحكم في عدد من الوظائف الخلوية أهمها مقاومة المضادات الحيوية المختلفة أو انتاج مواد سامة Toxins. ومن البلازميدات الشهيرة عامل المقاومة Resistance factor R factor وعامل الخصوبة أو الذكورة Fertility factor أو F. Factor sex factor وبعض البلازميدات قابلة للانتقال من خلية الى خلية خلال عمليات التزاوج فبى البكتيريا برورها في الزوائد الجنسية sex pili مثل عامل الخصوبة F factor كما سبق الاشارة اليه في الفصل التاسع.

٤- عدد من البلازميدات تكسب الخلايا العائل صفات وراثية ملموسة .
٥- بعض البلازميدات - وليس كلها - له القدرة على الانتقال من خلية الى خلية بكتيرية أخرى داخل الزوائد الجنسية sex pili خلال عملية التزاوج Cell conjugation.

٦- البلازميدات ذات القدرة على الانتقال Transmissible قد تنقل معها بلازميدات أخرى أو أجزاء من كروموسوم الخلية اذا كانت مدمجة معها الى خلية أخرى كما في حالة تزاوج الخلايا ذات القدرة العالية على تكوين الخلطات الوراثية High frequency recombinant cells

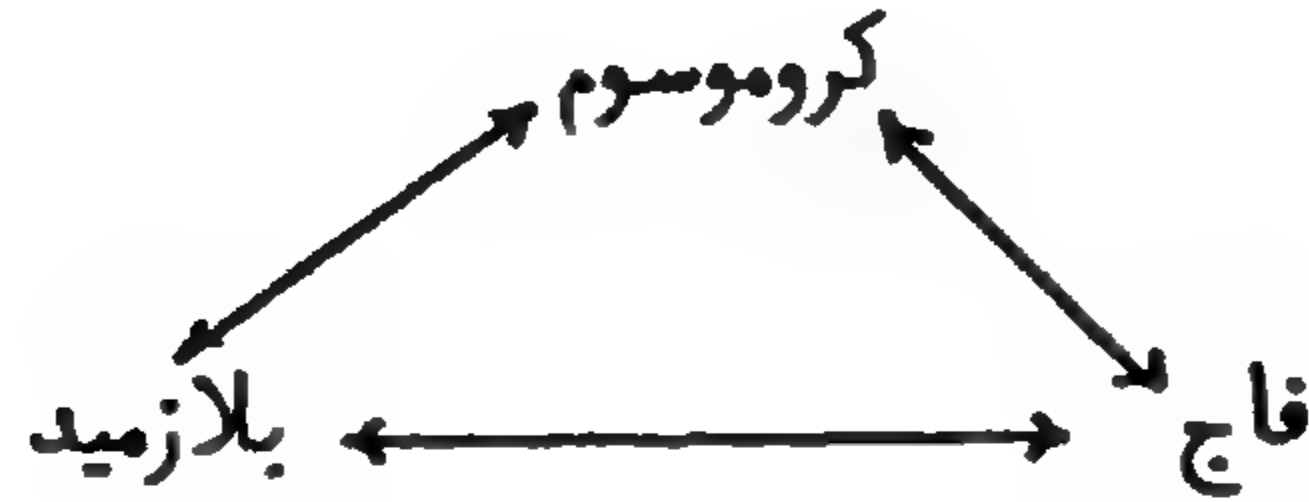
٧- البلازميدات غير أساسية dispensable للخلية - على الأقل تحت بعض الظروف من هذه الصفات المذكورة - تنطبق الأربع الأولى على كروموسومات الخلايا .

لذلك ... فالعلاقة بين البلازميدات والكروموسومات البكتيرية قوية ، وكذلك العلاقة بين الفاج المحتوى على الحمض النووي دن أ والبلازميدات هي علاقة قوية أيضا ... حيث أن المادة الوراثية للفاج والبلازميدات تشترك في كل الصفات السابقة ما عدا الانتقال خلال الزوائد الجنسية أثناء التزاوج * Conjugation.

وتختلف الفاجات عن البلازميدات في قدرتها على تحرير نفسها من الخلية العائل بعد تغطية نفسها بغطاء بروتيني (فيريونات) . ويعتقد بعض العلماء أن البلازميدات ذات القدرة على الانتقال من خلية الى أخرى قريبة الصلة جدا لبعض الفاجات الخيطية filamentous والمحتوية على الحمض النووي دن أ . فالزائدة الجنسية التي يربها البلازميد

* بعض الفاجات التي تصيب البكتيريا Pseudomonas تستطيع نقل صفات وراثية كروموسومية خلال عملية التزاوج في البكتيريا ، مثلها في ذلك مثل عامل انخصوبة F factor وحيث أن بعض البكتيريا تحتوي على عامل الخصوبة فان القدرة الخاصة لهذا الفاج في نقل صفات وراثية أثناء تزاوج البكتيريا قد تكون مكتسبة من عامل الخصوبة لهذه البكتيريا بعد تكوين خلطة وراثية genetic recombinant بينهما .

أثناء التزاوج تمثل الغطاء البروتيني للفاج الذى يستخدم لحقن الحمض النووى فى الخلايا عند غزوها بالفاج . وهذا يعطى انطباعا بوجود علاقة قوية بين البلازميدات والفاجات والكروموسومات البكتيرية ، ويمكن تمثيل العلاقة التطورية بين هذه المكونات الوراثية الثلاثة بالشكل التالى :



نظرا لقدرتهم على تكوين خلطات وراثية Genetic recombinant مع بعضها البعض .

فكثير من الفاجات والبلازميدات يمكنها الاندماج مع الكروموسوم البكتيرى ، كما انه تم اكتشاف اندماج بين أحد البلازميدات (عامل مقاومة R Factor) مع المادة الوراثية لأحد الفاجات ، وينتج عن ذلك فاج يحمل المورثات الموجودة فى عامل المقاومة فيكسب البكتيريا مقاومة لعدد من المضادات الحيوية .

وبذلك يمكن النظر الى الثلاث مكونات على أنهم يمكن تحويلهم أيا منهم للآخر - فالمادة الوراثية للفاج بعد فقد مورثات معينة يتحول الى بلازميد ، والبلازميد بعد اكتساب مورثات خاصة قد يتحول الى فاج ، كما أن البلازميد قد يتحول الى كروموسوم اذا اكتسب مورثات خاصة أيضا . ولكن المشكلة تظهر فقط فى تحديد أيهما نتج عن الآخر ... هل البلازميد نتج عن الفاج ؟ أو العكس ؟ أو انها كلها نشأت فى خطوط تطورية منفصلة من الكروموسوم ؟ أو هل الكروموسوم نتج من اندماج فاج وبلازميدات ؟

ولكنه من السهل تصور تكون البلازميدات - وخاصة غير المنتقلة منها - من الكروموسوم بواسطة عمليات حذف deletion أو اقتطاع من الكروموسوم .

الفصل التاسع عشر

وراثة الأحياء الدقيقة بدائية النواة

وبولوجيتها الجزيئية

ميكانيكية حدوث النقل بالحمل الخاص للمهفات الوراثة بالفاج

Genetic Recombination in Procaryotes

أثناء التطور لا يقتصر الانتخاب الطبيعي على طفرة أو طفرات في مورث Gene واحد ولكن الاحتمال الأكثر واقعية هو تكوين خلطة وراثية جديدة نتيجة لتبادل عدد من المورثات بين خليتين أبويتيين مختلفتين لانتاج خلايا بنوية جديدة ذات صفات تتلائم مع ظروف الانتخاب الطبيعي وميكانيكية تكوين هذه الخلطة الوراثة الجديدة هي ما يعرف باسم الخلط الوراثة أو التبادل الوراثة Genetic recombination وعلى المستوى الجزيئي فان الخلط أو التبادل الوراثة هو العملية التي يتم بموجبها تكوين صبغية (كروموسوم) Chromosome مكون من حمض نووي دنأ مصدره خليتين مختلفتين .

ويتكون مثل ذلك الكروموسوم في الأحياء ذات النواة البدائية بأي واحد من ثلاث طرق مختلفة هي :

- ١- نقل مباشر للحمض النووي دنأ Transformation
- ٢- نقل الحمض النووي دنأ بالتزاوج Conjugation
- ٣- نقل الحمض النووي دنأ بالحمل بالفاج Transduction

وتختلف العمليات الثلاث السابقة الذكر عن العملية الجنسية في الأحياء ذات النواة الحقيقية والتي ينتج عنها اندماج حقيقي للجاميطات Gametes المذكرة والمؤنثة ... وبدلا من ذلك ففي الأحياء ذات النواة البدائية ينتقل جزء فقط من المادة الوراثة للخلية المعطية Donor الى الخلية المستقبلة Recipient ... وبذلك تصبح الخلية المستقبلة عبارة عن زيجوت جزئي Partial zygote وأحيانا يسمى شبه زيجوت Merozygote .

وتسمى المادة الوراثية للخلية المستقبلية باسم المادة الوراثية الداخلية Endogenote أما قطع الحمض النووي دنا التي تصل إلى الخلية المستقبلية من خارجها فتسمى المادة الوراثية الأجنبية Exogenote. وتختلف طبيعة وحجم المادة الوراثية الأجنبية في كل من عمليات الخلط الوراثة الثلاث السابقة الذكر .

ففي النقل المباشر Transformation للحمض النووي دنا تفرز الخلايا المعطية Donor قطع صغيرة مختلفة الأطوال من الحمض النووي دنا مزدوج السلسلة في الوسط المحيط . وهذه القطع تمتاز إلى سطح الخلايا المستقبلية ثم تدخل إلى داخل الخلايا المستقبلية بالآلية غير المعروفة حتى الآن ، وعند وصولها إلى داخل الخلية تكون إحدى سلسلتى الحمض النووي دنا للمادة الوراثية الأجنبية قد تحللت ويبقى منها سلسلة واحدة فقط .

أما في التزاوج Conjugation فان إحدى سلسلتى الحمض النووي للخلية المعطية تفتح وتبدأ في الانتقال عبر الزائدة الجنسية من الخلية المعطية إلى الخلية المستقبلية (الليذان يكونان في حالة اتصال جنسي بواسطة الزوائد الجنسية) . ويختلف طول القطعة المنقولة من الحمض النووي دنا الأجنبي على حسب مدة بقاء الاتصال الجنسي . فاذا انقطع الاتصال الجنسي بعد فترة زمنية قصيرة فان قطعة صغيرة فقط من المادة الوراثية الأجنبية تنتقل إلى الخلية المستقبلية ، أما اذا كانت مدة الاتصال الجنسي طويلة فيزيد طول قطعة المادة الوراثية الأجنبية المنقولة إلى الخلايا المستقبلية . وقد دلت الدراسات على أن استمرار الاتصال الجنسي دون انقطاع لمدة ١٠ دقيقة يؤدي إلى انتقال نسخة كاملة من كروموسوم بكتيريا القولون .

أما في نقل الحمض النووي دنا بالحمل بالفاج Transduction فان قطعة صغيرة من الحمض النووي دنا مزدوج السلسلة (المادة الوراثية الأجنبية) يتم احضارها من الخلية المعطية إلى الخلية المستقبلية بواسطة فاج (فيروس بكتيري) . وقد تكون هذه القطعة من المادة الوراثية

الأجنبية عبارة عن حمض نووي د ن أ بكتيري فقط أو تكون حمض نووي د ن أ —
بكتيري متصل بالحمض النووي د ن أ الفيروسي .

وقبل مناقشة كل عملية على حدة يلزم توضيح الخطوات التي تلي
دخول المادة الوراثية الأجنبية الى داخل الخلية المستقبلية .

(١) اذا كانت المادة الوراثية الأجنبية التي وصلت الخلية
المستقبلية تحتوي عدد من القواعد النيتروجينية مرتبة في ترتيب مماثل لتلك
القواعد على المادة الوراثية الداخلية للخلية المستقبلية ، فانه سريعا
ما يحدث ازدواج Pairing بين المادتين الوراثيتين الداخلية والأجنبية
ويتكون كروموسوم مخلوط ناتج عن اندماج جزء أو كل المادة الوراثية
الأجنبية مع المادة الوراثية الأصلية .

(٢) اذا وجدت عوائق تمنع اندماج المادة الوراثية الأجنبية
مع المادة الوراثية الداخلية للخلية المستقبلية مثل عدم توفر ترتيبات متماثلة
من القواعد على كلا المادتين الوراثيتين الأجنبية والداخلية أو غيرها
من الأسباب فان المادة الوراثية الأجنبية تسلك أحد المسالك التالية :

أ — اذا كانت المادة الوراثية الأجنبية تحمل المورثات Genes
المسئولة عن تضاعف Replication نفسها فان هذه المادة الوراثية
الأجنبية قد تتضاعف وينتج الزيجوت الجزيئي المتكون في الخلية المستقبلية
تكون مستعمرة من خلايا مزدوجة المجموعة الكروموسومية (الصبغية) بدرجة
جزيئية Partial diploid بمعنى أن عددا محددا فقط من المورثات
يكون مزدوجا بينما تكون باقي المورثات مفردة . وقد لوحظت مثل تلك
الحالات في بعض حالات نقل د ن أ بالتزاوج Conjugation أو بالحمل
بالفاج Transduction .

ب — اذا لم تحمل المادة الوراثية الأجنبية المورثات المسئولة
عن تضاعف نفسها فان هذه المادة الوراثية الأجنبية قد تستمر في الخلية
دون تضاعف وينتج عن هذه الخلية المستقبلية مستعمرة تكون كل خلاياها

أحادية المجموعة الكروموسومية (الصبغية) Haploid فيما عدا
خلية واحدة فقط تكون مزدوجة المجموعة الكروموسومية (الصبغية) بدرجة
جزئية Partial diploid وتعرف هذه الحالة باسم نقل المادة الوراثية
بالحمل الاجهاضى بالفاج وإذا كانت المورثات Genes على المادة
الوراثية الأجنبية في هذه الحالة أساسية للنمو فان النمو يكون بطيئاً
جداً عادة وتتكون مستعمرات صغيرة جداً ، حيث أن مورثا Gene واحدا
في المستعمرة كلها هو الذي يوجد على المادة الوراثية الأجنبية التي لا
تضاعف ولا تندمج مع الكروموسوم الخلوى ، وقد تمت الإشارة الى ذلك
عند مناقشة ميكانيكية حدوث النقل بالحمل بالفاج فيما سبق .

ج - قد تتحلل المادة الوراثية الأجنبية بالانزيمات الخلوية
، وتعرف هذه الظاهرة باسم ظاهرة الاقصاء Restriction وقد سبق
الإشارة الى ظاهرتى الاقصاء والتعديل بعد مناقشة دورة تضاعف الفاج
المحتوى على الحمض النووى دنأ الحلقي المزدوج السلسلة .

وقد سبق مناقشة النقل بالحمل العام والخاص والاجهاضى
لصفات الوراثية فى الفصل الخاص بوراثة الفاجات وبيولوجيتها الجزيئية
وسنتناقش هنا النقل المباشر Transformation والنقل بالتزاوج
Conjugation للمادة الوراثية الأجنبية .

أولاً: النقل المباشر للمادة الوراثية الأجنبية فى البكتيريا :

Bacterial Transformation

اكتشفت ظاهرة النقل المباشر للمادة الوراثية Transformation فى
البكتيريا Streptococcus pneumoniae والتي تسمى أحيانا Pneumococcus
بسبب ما تسببه من مرض الالتهاب الرئوى Pneumonia والمصابين
بهذا المرض يوجد فى لعابهم أو أنسجتهم هذه البكتيريا محاطة بكبسولة
كبيرة من عديدات السكر Polysaccharides . وعند تنمية
هذه البكتيريا ذات الكبسولة على مستبتات صلبة تتكون مستعمرات ناعمة
Smooth ويرمز لها بالرمز S وهذه البكتيريا يمكن تقسيمها الى عدة

أقسام Types وفقا للاختلافات في التركيب الكيميائي لمادة الكبسولة في كل منها ، والأقسام المختلفة من هذه البكتيريا تأخذ الأرقام I, II, III وهكذا يمكن التمييز بينها بالطرق المناعية الكيميائية ...

عند زرع خلايا ذات كبسولة S على الآجار فانه تتكون مستعمرات ناعمة بصفة عامة ، ولكن عادة تظهر مستعمرات ذات مظهر خشن Rough ويرمز لها بالرمز R وخلايا هذه المستعمرات الخشنة تكون بدون كبسولة ، وهي ليست ضارية ، بمعنى أنها لا تسبب حدوث المرض ، وذلك على عكس البكتيريا ذات الكبسولة S والتي تسبب حدوث المرض بوضوح ، وفي عام ١٩٢٨ لاحظ جريفت Griffith انه عند حقن عدد كبير من خلايا R تكونت من خلايا حية قسم I فقدت القدرة على بناء الكبسولة مضافا اليها خلايا S قسم II سبق قتلها بالحرارة في قتران التجارب . ورغم أن كلا النوعين من الخلايا المحقونة لا يسبب الموت اذا حقن منفصلا عن الآخر ، فقد لاحظ جريفت أن القتران المحقونة بكلاهما معا يموتون نتيجة الاصابة بالمرض . وعند أخذ عينات من دم القتران الميتة وفحصها وجد أن الدم يحتوى على خلايا ذات كبسولة S من قسم II فقط .

واستنتج من ذلك أن الخلايا الميتة أنتجت المادة الوراثية التي تحمل الصفات الوراثية للكبسولة الخاصة بقسم II وأن هذه المادة الوراثية امتصت بواسطة الخلايا R فأصبحت قادرة على انتاج كبسولة من نوع II . من ذلك يلاحظ أن الخلية المعطية لا يجب أن تكون حية . بل ثبت بعد ذلك أنه يمكن أحداث النقل المباشر Transformation للمادة الوراثية باستعمال مستخلص الخلايا Cell-free extract . وفي عام ١٩٤٤ تمكن Avery and Macleod and McCarty من عزل تلك المادة الوراثية التي تحمل الصفات الوراثية من الخلايا المعطية . المسمى الخلايا المستقبلية ، وبعد دراستها تبين أنها الحمض النووي DNA وفي نفس العام تقريبا تم اكتشاف حدوث هذه الظاهرة في بعض الأفراد التابعة لأجناس Hemophilus, Neisseria, Bacillus ولكن العديد من المحاولات فشلت في اثبات حدوث هذه الظاهرة في العديد من البكتيريا . أما حدوث النقل المباشر للمادة الوراثية في بكتيريا القولون E. coli K12

فلم يثبت الا بعد محاولات عديدة فاشلة ، وأمكن اثباته فقط في ظروف خاصة من وجود تركيزات مرتفعة من أيونات الكالسيوم ، ورغم أن الخلايا المستقبلية تستطيع استقبال قطع من الحمض النووي تصل الى 10×10^6 دالتون (٣٪ من كروموسوم الخلية المعطية) الا أن آلية دخول هذه القطع الى الخلية المستقبلية مازالت غير مفهومة تماما . كما أنه —عادة — يصعب اثبات دخول أكثر من مورث Gene واحد أو مورثين ، الا أن حجم القطعة التي تدخل الى الخلية المستقبلية قد تحمل حوالي (١٥) خمسة عشرة مورثا .

وحيث أن النقل المباشر للصفات الوراثية يحدث بمعدل منخفض فانه من الضروري استعمال علامات (مورثات) مختارة Selective markers بمعنى أن الحمض النووي دنا الناتج عن الخلية المعطية يجب أن يحتوى على صفات وراثية يمكن تمييزها في الخلايا المستقبلية المختلطة وانتخابها Selected في وجود عدد كبير من الخلايا الحية المستقبلية . ويمكن إعادة الاعتماد على العلامات الوراثية المسئولة عن المقاومة للمضادات الحيوية أو عدم اعتماد السلالات البكتيرية على وجود عناصر غذائية معينة في الوسط الغذائي . وعلى سبيل المثال اذا كان لدينا مزرعة من خلايا مستقبلية حساسة للمضاد الحيوى ستربتومايسين مثلا ومزرعة من خلايا معطية مقاومة للاستربتومايسين فان قتل الخلايا المعطية أو استخلاص الحمض النووي دنا الخاص بها وخلطه مع الخلايا المستقبلية ثم زرعها على وسط غذائي يحتوى على الاستربتومايسين يسمح بانتخاب الخلايا التى حصلت على المورثات المسئولة عن مقاومة هذا المضاد الحيوى ، ويقال عن مورثات الاستربتومايسين في هذه الحالة أنها علامات (مورثات) انتخابية Selective markers . وبالمثل اذا كانت مزرعة الخلايا المستقبلية تحتاج الحمض الأميني أرجنين للنمو . وكانت مزرعة الخلايا المعطية تستطيع بناء هذا الحمض الأميني بنفسها (أى لا تحتاج للحمض الأميني أرجنين لكي تنمو) فانه يمكن تقدير حدوث الانتقال المباشر Transformation بعد خلط الحمض النووي دنا للخلايا المعطية مع الخلايا المستقبلية ثم زرعها على مستنبت لا يحتوى على الأرجنين .

تحتاج البكتيريا من أجناس *Streptococcus* ، *Hemophilus* ، *Neisseria* الى مستنبات معقدة التركيب لنموها ، لذلك فانه من الصعوبة بمكان أن تكون طريقة اختيار السلالات البكتيرية مبنية على عدم اعتماد السلالات على وجود عناصر غذائية معينة في الوسط الغذائي كطريقة لاثبات الانتقال المباشر للمادة الوراثية - أما البكتيريا *Bacillus subtilis* . فلا تتطلب عوامل نمو خاصة ، ويمكنها النمو على مستنبات بسيط *Minimal medium* مناسب يحتوي على مصدر مناسب للكربون والطاقة ، أما باقى العناصر الغذائية الأخرى فيمكن الحصول عليها من أملاح غير عضوية ، وقد أمكن عزل العديد من السلالات التى تتطلب احتياجات غذائية مختلفة من تلك البكتيريا . وقد أمكن اثبات حدوث النقل المباشر فى هذه البكتيريا بخلط الحمض النووى د ن أ للبكتيريا البرية *Wild type* (والتي لا تحتاج لأى عوامل نمو) مع أى سلالة من السلالات التى تحتاج الى عناصر غذائية مختلفة وزرعها بعد ذلك على مستنبات بسيط لا يحتوى على أى عوامل نمو . والمستعمرات الناتجة تكون خلايا حدث بها نقل مباشر للحمض النووى د ن أ .

أحداث النقل المباشر Transformation process للمادة الوراثية البكتيرية

العامل المحدد فى معدل حدوث النقل المباشر فى خلايا مزرعة معينة يعتمد على قدرة *Competence* الخلايا المستقبلية على استقبال قطع الحمض النووى د ن أ . وهذه القدرة *Competence* هى تعبير عن الحالة الفسيولوجية للخلية ، وهى تختلف كثيرا من وقت لآخر أثناء دورة حياة الخلية . والمعلومات عن حالة القدرة تلك ما زالت محدودة ، ولكنه من المعروف أن الخلايا القادرة *Competent Cells* (التى لديها القدرة *Competence*) تفرز بروتينا يمكن عزله من الوسط الذى تعيش فيه . وهذا البروتين عند اضافته لخلايا غير قادرة فانها تكتسب صفة القدرة *Competence* على استقبال قطع المادة الوراثية بالنقل المباشر *Transformation* . وهذا البروتين اما أن يكون أحد مكونات الغشاء الخلوى أو يكون عاملا مساعدا لدخول الحمض النووى

دنا الى داخل الخلية . أو يكون هذا البروتين عبارة عن أنزيم يقوم بتحليل ماكن معينة في الغشاء الخلوى ليسمح بدخول الحمض النووى دنا الى داخل الخلية .

وقد درست عملية دخول الحمض النووى دنا الى داخل الخلية دراسة مستفيضة في بكتيريا *Pneumococci* (*Streptococcus pneumonia*) ... وأمكن تقسيم هذه العملية الى ثلاث مراحل في هذه البكتيريا الموجبة لصبغة جرام هي :

(١) في المرحلة الأولى ترتبط قطع الحمض النووى دنا بمواقع معينة أثناء فترة القدرة *Competence* الخلوية على استقبال الحمض النووى . وفي هذه المرحلة يلزم توفر مركب الكولين *Choline* (وهو أحد مكونات الغشاء الخلوى) ...

والمعروف أن هذه البكتيريا قد تأخذ الحمض النووى دنا لأحياء أخرى بما في ذلك الحيوانات الراقية . ولكن حدوث ادماج للمادتين الوراثيتين الداخلية والأجنبية لا يتم الا في وجود درجة عالية من التشابه في تسلسل القواعد بين المادتين الوراثيتين الخارجية والأجنبية .

(٢) في المرحلة الثانية يتحلل الحمض النووى الأجنبى انزيميا والمرتبطة مع الغشاء الخلوى من الخارج الى عدة أجزاء ، ويتراوح متوسط الوزن الجزيئى للقطع الناتجة من ٤ الى 5×10^6 .

(٣) في المرحلة الأخيرة تدخل قطع الحمض النووى دنا الناتجة الى داخل الخلية وأثناء عبورها للغشاء الخلوى تتحلل احدى السلسلتين ويصل الى داخل الخلية سلسلة مفردة للحمض النووى دنا وهذه الخطوة يصحبها استهلاك طاقة ، والطاقة اللازمة للمرحلة الثالثة تأتى من تحليل جزيئات ATP الغنية في الطاقة .

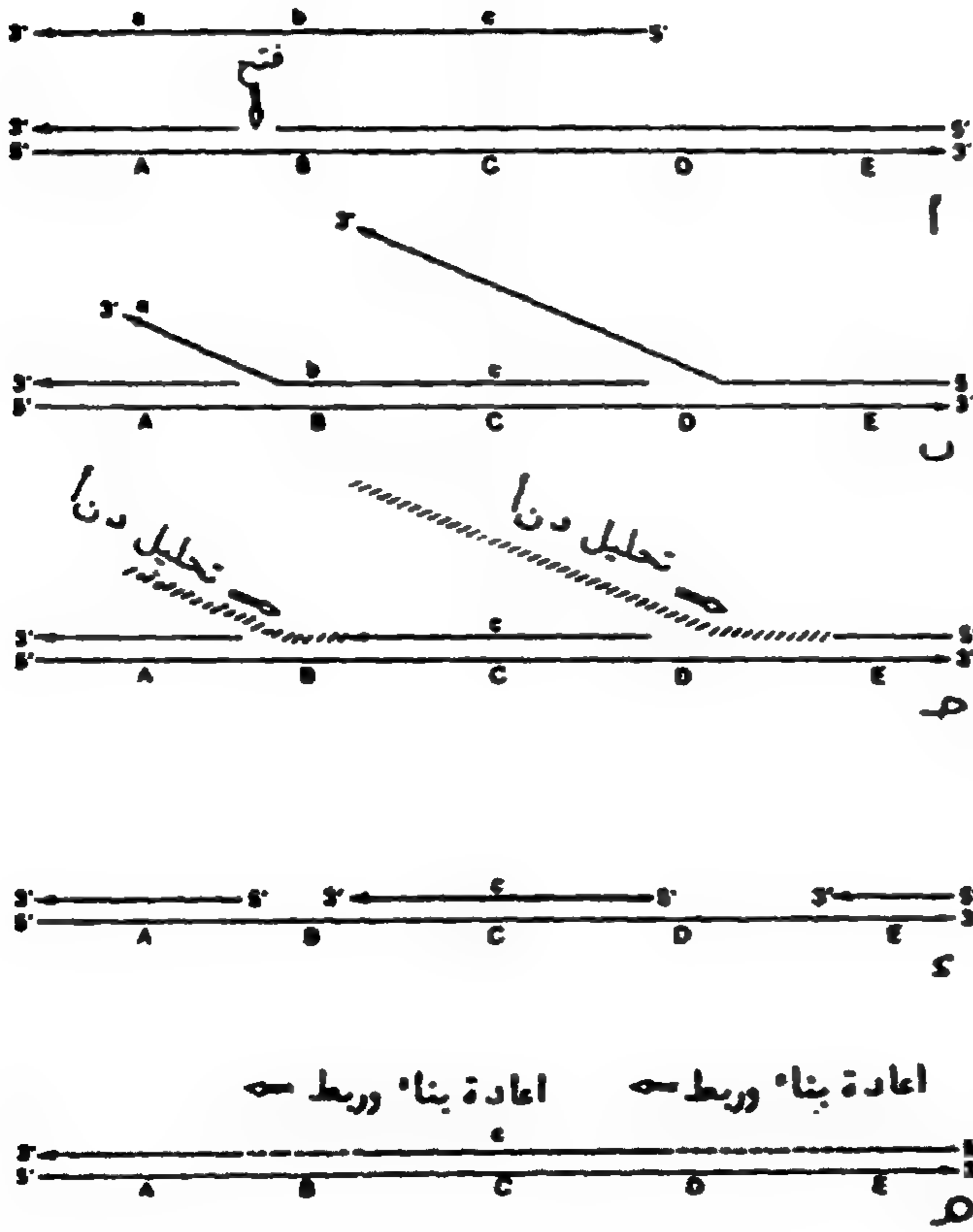
وقد لوحظ أن قطع الحمض النووى دنا التى لها وزن جزيئى أصغر من 5×10^6 لا تأخذها الخلايا .

أما في البكتيريا السالبة لصبغة جرام مثل Hemophilus influenza فان هناك تشابها كبيرا مع ما سبق شرحه في البكتيريا الموجبة لصبغة جرام . فقد لوحظ أن الخلايا القادرة Competent cells لا تأخذ الا الحمض النووي ذو ترتيب القواعد المشابهة Homologous لترتيب القواعد على مادتها الوراثية . كما أن تحول الحمض النووي مزدوج السلسلة الى مفرد السلسلة يحدث في نفس الوقت أثناء اندماج الحمضين النوويين الداخلي والأجنبي . كما ثبت أيضا أن مركب الأدينوزين أحادي الفوسفات الحلقى Cyclic AMP يلعب دورا هاما في زيادة قدرة الخلايا على استقبال المادة الوراثية . ففي وجوده تزيد الخلايا التي تكتسب القدرة Competence عشرة آلاف مرة .

ويلى دخول المادة الوراثية الأجنبية Exogenote حدوث اندماج مع المادة الوراثية الداخلية Endogenote للخلية . ويأتى حدوث هذا الاندماج سريعا ، فاذا كانت المادة الوراثية الداخلية تحمل علامتين (مورثين) وراثيين Genetic markers متقاربين $A^+ B^+$ وكانت المادة الوراثية الأجنبية تحمل العلامتين الوراثيتين $A^+ B^-$ وضع علامة زائد فوق أى علامة وراثية يعنى أنها السلالة البرية بمعنى أن هذا المورث يعمل عاديا كما في السلالة البرية . أما وضع علامة ناقص فوق أى علامة وراثية فانها تعنى أن هذا المورث قد حدثت به طفرة فأصبح مورثا غير عامل) فانه يمكن بعد فترة قصيرة استخلاص قطع دنا تحمل العلامتين الوراثيتين $A^+ B^+$ شكل (١٩-١) . ويتكون $A^+ B^+$ بزيادة مستمرة في خط مستقيم بمرور الوقت وبدون أى فترة تحضيرية Lag ويصل الى نصف مستوى الحد الأقصى في خلال ست دقائق فقط ، وتتم هذه العملية بدون أى تضاعف للحمض النووي الأصلي الداخلى .

ويلعب النقل المباشر للمادة الوراثية بين البكتيريا دورا لا بأس به في تطور واختلاف أنواع البكتيريا .

شكل ١٩-١ : تكامل دن أ
وحيد السلسلة الأجنبي مع
دن أ مزدوج السلسلة
الداخلي .



أ- دن أ وحيد السلسلة
يحمل المورثات abc يقترب
من دن أ مزدوج السلسلة
يحمل نفس المورثات ABCDE
ويحدث كسر (فتح) لأحدى
السلسلتين بين B و A .
ب- تنفك إحدى السلسلتين
من السلسلة الأخرى لتسمح
بتكوين سلسلة مزدوجة دن أ
الأجنبي وحيد السلسلة .
ج- د : انزيماة محللة
للحمض النووي دن أ تقوم
بإزالة الأجزاء الزائدة من
الحمض النووي ثم تقوم انزيماة
بناء الحمض النووي دن أ
باستكمال الأجزاء الناقصة
وربطها ببعضها فتصبح
أحدى السلسلتين حاملة
للمورثات ABCDE
والسلسلة الأخرى ABcDE .

ثانيا : التزاوج البكتيري : Bacterial Conjugation

أدى اكتشاف النقل المباشر للمادة الوراثية البكتيرية الى اكتشاف الخلط (التبادل) الوراثي في البكتيريا وبدأ البحث عن حدوث عمليات جنسية تشبه ما يحدث في الأحياء ذات النواة الحقيقية . وفي عام ١٩٤٦ م قام العالمان لدريج وتاتم J. Lederberg & E.L. Tatum بأجراء تجربة لاثبات حدوث الخلط الوراثي في بكتيريا القولون E. coli بالتزاوج Conjugation.

فالمعروف أن السلالة البرية من بكتيريا القولون E. coli K12 لا تحتاج لأي عوامل نمو وتستطيع أن تنمو على وسط غذائي (مستتبت الحد الأدنى الغذائي Minimal medium) يحتوى على جميع الاحتياجات الخلوية في صورة معدنية + جلوكوز كمصدر وحيد للطاقة والكربون . ويمكن بعملیات التطفر التي سبق شرحها بالتفصيل عزل عدد من السلالات من هذه البكتيريا ، وكل سلالة تكون ذات احتياجات خاصة من عوامل النمو المختلفة . وقد تمكن هذان العالمان من عزل طفرتين من هذه البكتيريا . الطفرة الأولى كانت تحتاج الى الفيتامين بيوتين Biotin وسيرمز له بالرمز (Bio) وتحتاج أيضا للحمض الأميني ميثونين Methionine وسيرمز له بالرمز Met أما الطفرة الثانية فكانت تحتاج لعامل النمو الحمض الأميني ثريونين Threonine ويرمز له بالرمز Thr والحمض الأميني ليوسين Leucine ويرمز له بالرمز Leu . وتسهيلا للكتابة فالصفة البرية تميز بالعلامة (+) وتعنى أن المورث Gene جيد ويقوم بوظائفه وتستطيع الخلية بناء المركبات المميزة بالعلامة (+) وبالتالي لا تحتاجها في وسط النمو ، والطفرة تميز بالعلامة (-) وتعنى أن المورث أصبح غير عامل وتحتاج الخلية لهذا المركب في المستتبت حتى تستطيع النمو ، وعلى ذلك تكون الطفرة الأولى تكون $bio^- met^- thr^+ leu^+$ (الخلية الأبوية الأولى) والطفرة الثانية تكون $bio^+ met^+ thr^- leu^-$ (الخلية الأبوية الثانية) .

وقد خلطا 10^8 خلية من كلا الأبوين (الطفرتين المذكورتين) ثم
الزراع على أطباق بترى تحتوى على . متببت بسيط Minimal medium يحتوى
الجلوكوز كمصدر وحيد للكربون والطاقة ، وبقية الاحتياجات الأخرى فى
صورة غير عضوية وبدون اضافة أى عامل نمو (بدون اضافة بيوتين - ميثونين
- ثريونين - ليوسين) .

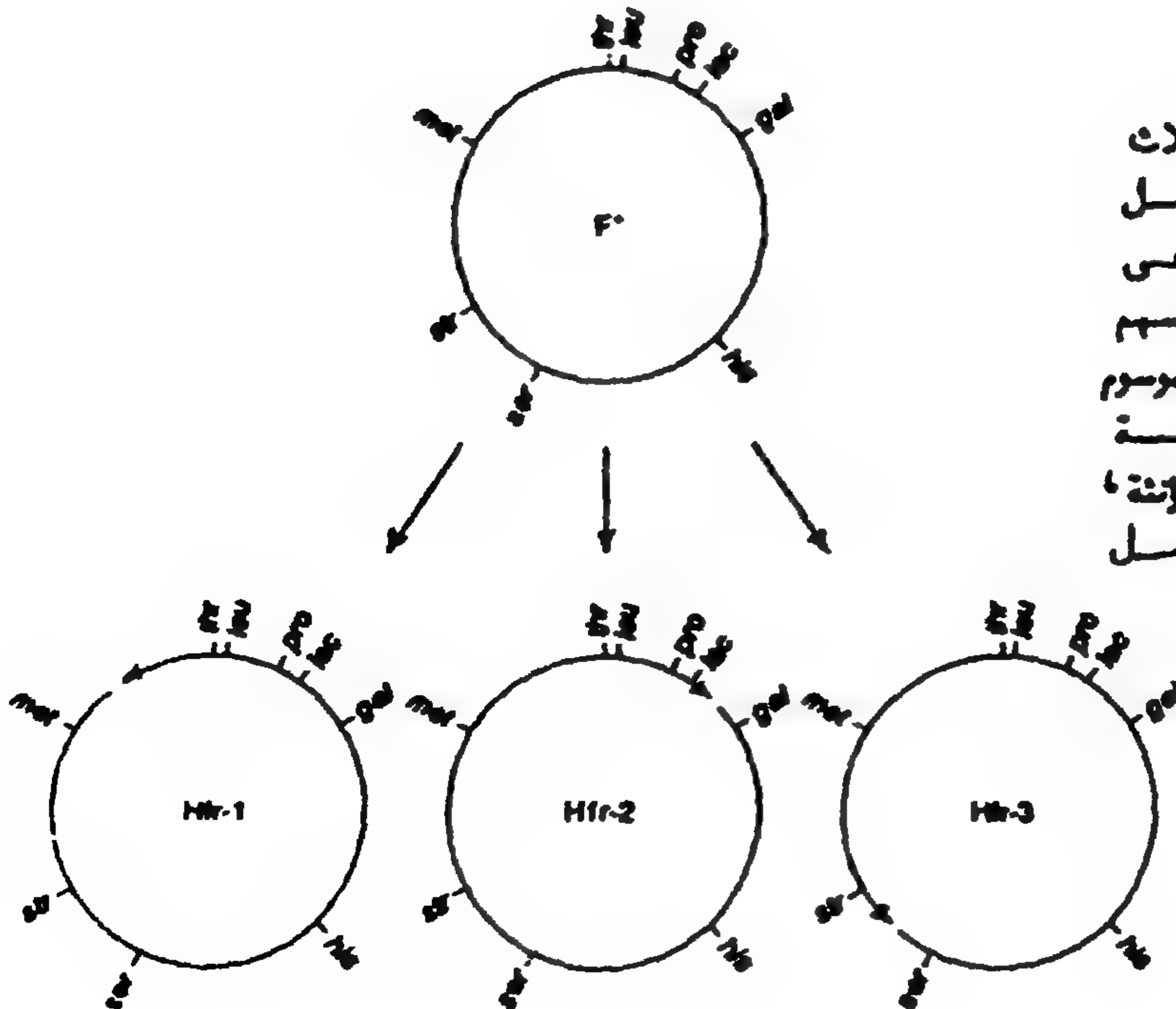
وبالرغم من عدم قدرة كلا الطفرتين على النمو على مثل هذا
المتببت ... الا أن عدة مئات من المستعمرات قد ظهرت على أطباق
بترى ، وعند عزل هذه الخلايا البنية اتضح أنها كلها تحمل مورثات
جيدة لكل من البيوتين والميثونين والثريونين والليوسين ، وبذلك فإن
الخلايا البنية الناتجة تستطيع بناء احتياجاتها من هذه المركبات ولا
تحتاجها فى المتببت الغذائى ، وبذلك فإن الخلايا البنية تكون
 $bio^+ met^+ thr^+ leu^+$ وقد بذلت محاولات عديدة جدا بهدف
محاولة اثبات وجود قطع من الحمض النووى دنأ تنتقل نقل مباشراً
Transformation ولكن كل هذه المحاولات فشلت فى اثبات ظاهرة
النقل المباشر . كما أنه من المستبعد أن تكون الطفرات المستعملة قد
ارتدت الى السلالة البرية فقد أوضحت الحسابات أن احتمال حدوث
الارتداد للسلالة البرية Wild type يكون أقل كثيراً مما ظهر فعلاً
عند خلط السلالتين ... وقد ثبت أخيراً خلال الفحص المجهرى أن
تكوين الخلطة الوراثية Genetic Recombinant فى بكتيريا القولون
E. coli يتطلب اتصال مباشر من خلية الى خلية وهو ما يعرف بالتزاوج
Conjugation (شكل ٨-٩) .

وقد سبق شرح ما يحدث فى عملية التزاوج فى الباب الثالث بالتفصيل
، وسنتكلم هنا عن استخدام هذه العملية فى وضع الخرائط الكروموسومية
لبكتيريا القولون E. coli .

سبق الإشارة الى أن الخلايا التى تحتوى على عامل الخصوبة
(عامل الذكورة) F factor تسمى الخلايا المذكورة F^+ حيث يحتوى
عامل الخصوبة على المورثات المسئولة عن تحريك المواد الوراثية من الخلية

المعطية الى الخلية المستقبلة . والخلايا التي لا تحتوى على عامل
الخصوبة تسمى الخلايا المؤنثة أو خلايا F^- . وفي مجتمع من خلايا
 F^+ فان عملية اندماج بين الكروموسوم وعامل الخصوبة تحدث في خلية
من كل 10^5 من الخلايا ، وهذه الخلية التي يتدمج فيها عامل الخصوبة
مع الكروموسوم تسمى الخلايا ذات الكفاءة العالية على تكوين الخلطات
الوراثية High frequency recombination ويرمز لها عادة بالرمز
Hfr (شكل ١-٣٨) .

ولا يحدث اندماج عامل الخصوبة هذا في نفس الموقع من الكروموسوم
، بل ان هذا الاندماج يحدث عادة في ٨-١٠ مواقع مختلفة على
الكروموسوم (شكل ١٩-٢) .



شكل ١٩-٢ : يوضح ثلاث
أماكن مختلفة لعامل
الخصوبة F factor في
خلايا Hfr ورؤوس الأسهم
توضح اتجاه حركة الكروموسوم
أثناء انتقاله من الخلية
المؤنثة الى الخلية المستقبلة ،
وهي أماكن اندماج عامل
الخصوبة .

وهناك مواقع أخرى من الكروموسوم يحدث فيها الاندماج ولكن بدرجة أقل كثيرا من المواقع العشرة المذكورة ، والمعتقد أن تلك المواقع العشرة على الكروموسوم البكتيري تمثل ترتيبا معيناً من القواعد النيروجينية يشبه ترتيباً مماثلاً له على عامل الخصوبة مما يسمح بحسبوث الاندماج بينهما عند تلك المواقع . كما قد يحدث الاندماج أيضاً بين عامل الخصوبة وأى بلازميد آخر فى الخلية إذا وجد التشابه فى ترتيب بعض القواعد على كلا من عامل الخصوبة والبلازميد المذكور .

كما أشرنا ، أن عملية الاندماج تلك هى عملية رجعية Reversible بمعنى أن مجتمعا من خلايا Hfr يحدث فيه انفصال لعامل الخصوبة على الكروموسوم وتتحول الخلية من Hfr الى F^+ وذلك فى خلية من كل ١٠ خلية ، وعلى ذلك فإن كل مجتمع من خلايا F^+ يحتوى على عدد قليل من خلايا Hfr ، وكل مجتمع من خلايا Hfr يحتوى على عدد قليل من خلايا F^+ .

انتقال المادة الوراثية من خلايا Hfr معطية :

عند خلط معلق من بكتيريا Hfr مع خلايا F^- فإن كل خلية Hfr تتصل بخلية F^- عن طريق زائدة جنسية Sex pilus ويبدأ فوراً انتقال احدى سلسلتى الحمض النووى دنا للخلية Hfr المعطية فى الانتقال الى الخلية المستقبلية خلال الزائدة الجنسية Pilus . وحيث أن الحمض النووى دنا لكلا من الكروموسوم وعامل الخصوبة مند مجين فإن نسخة من كلا من الكروموسوم وعامل الخصوبة تنتقل من الخلية المعطية الى الخلية المستقبلية اذا استمر وقت التزاوج لفترة كافية . والفترة الزمنية التى تكفى لانتقال نسخة كاملة من الكروموسوم وهى ٩٠ دقيقة ، ويتم انتقال المورثات بالتسلسل واحد بعد الآخر بحيث أن المورثات القريبة من مكان انفتاح السلسلة الحلقية للكروموسوم تنتقل أولاً ثم الأبعد فالأبعد عن مكان انفتاح السلسلة الحلقية للكروموسوم ، وهكذا

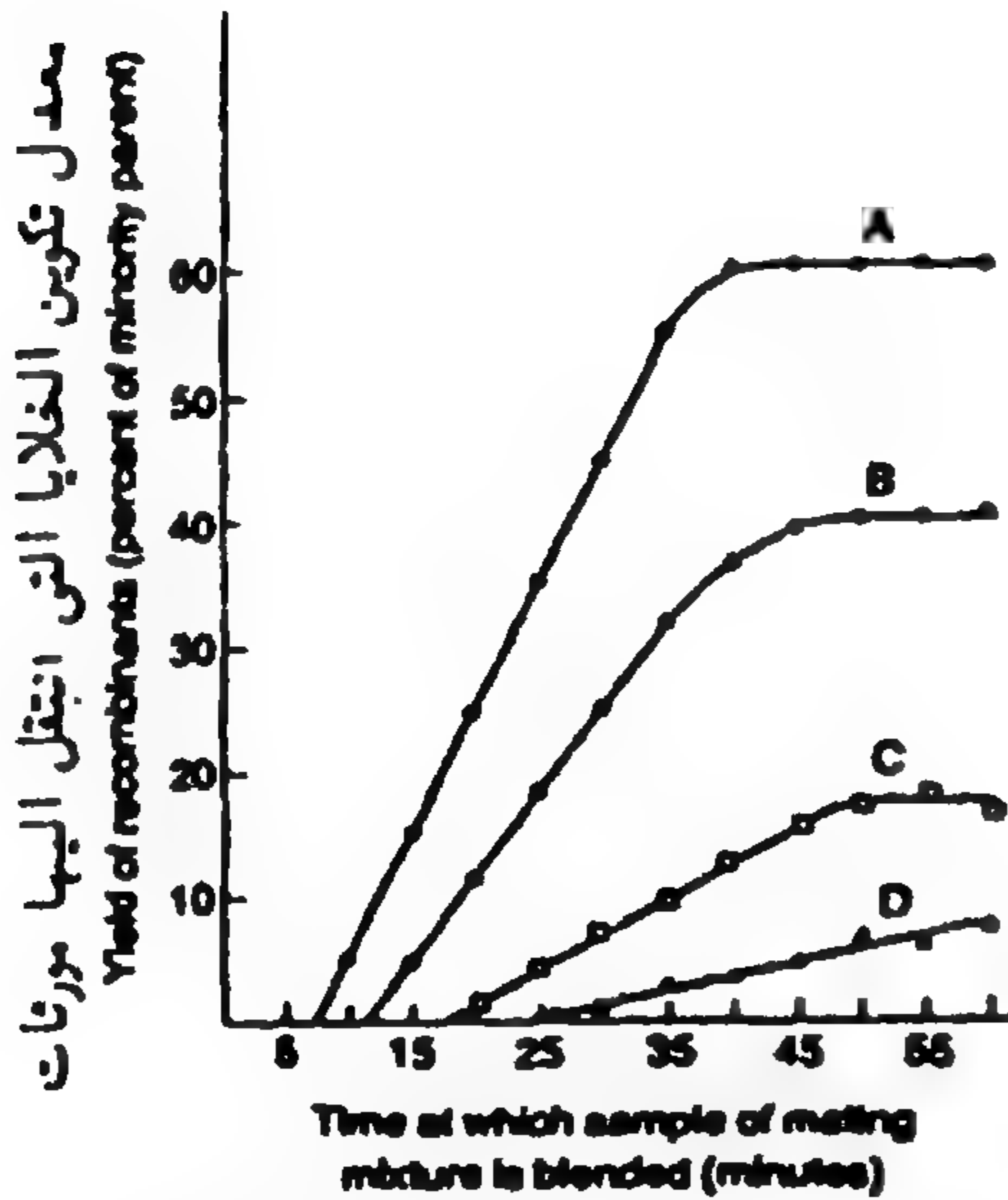
وبنهاية ١٠ دقيقة من التزاوج يكون آخر مورث قد انتقل الى الخلية المستقبلية ، ولذلك تصمم الخريطة الكروموسومية لبكتيريا القولون *E. coli* على أساس أولوية وصول مورثات الخلايا المعطية الى الخلايا المستقبلية والوقت اللازم لانتقال هذه المورثات ، ولذلك ترسم الخريطة الكروموسومية في صورة دائرة (تشبيها للكروموسوم الحلقي) ثم تقسم هذه الدائرة الى ١٠ قسم (اشارة الى المورثات التي تنتقل خلال كل دقيقة من الدقائق التسعين) .

كما يجب الاشارة الى تسلسل وصول المورثات وأن ذلك يعتمد على موقع عامل الخصوبة *F factor* في الكروموسوم واتجاه حركة انتقال المادة الوراثية .

وقد تم اكتشاف العلاقة الخطية Linear لزيادة تكوين الخلطات الوراثية المختلفة بالنسبة لوقت التزاوج بواسطة وولمان وجاكوب E. Wallman and F. Jacob عام ١٩٥٦ أثناء اجراء تجربة لدراسة كينتيكية تكوين الخلطات الوراثية . وقد أجريت هذه التجربة بخلط مزارع من خلايا F^- وخلايا Hfr ويسمح لها بالتزاوج لفترة زمنية مختلفة ثم أخذت عينات منها على تلك الفترات الزمنية المختلفة وضربت في خلط على سرعة مرتفعة لفصل أى اتصال جنسى بين الخلايا ، ثم لقحت العينات على عدد من المستنبطات الانتخابية (وهى مستنبطات تسمح بنمو البكتيريا التي انتقل اليها مورثات معينة دون غيرها من البكتيريا) وذلك لتقدير عدد البكتيريا التي تم فيها الخلط الوراثي *Recombination* لأى مورث عند مرور كل فترة زمنية لأخذ العينات ، وتظهر نتائج هذه التجربة في الشكل (١٩-٣) ، وفيه تم تمثيل المورثات (العلامات الوراثية Genetic markers) بالحروف A , B, C and D ومن الرسم يتضح أن كلما طال وقت التزاوج كلما انتقلت مورثات أكثر ، فمثلا في نهاية عشرة دقائق من الاتصال الجنسي يكون المورث A فقط قد انتقل الى الخلية المستقبلية وفي نهاية ١٥ دقيقة من الاتصال الجنسي يكون المورثين A , B قد انتقلا الى الخلايا المستقبلية . وان كانت نسبة انتقال A أكبر من نسبة انتقال B .

وتوضح هذه التجربة أن الخلية المعطية تحقق ببطء سلسلة كروموسومية في الخلية المستقبلية ، ولذلك فإن المورثات تصل الى الخلية المستقبلية في ترتيب على حسب موقعها على الكروموسوم حتى تنتقل نسخة كاملة من الكروموسوم في حوالي ٩٠ دقيقة . ويميل الخطوط المتحصل عليها في الشكل (٣-١٩) يوضح أن وقت بدء انتقال المواد الكروموسومية من الخلية المعطية الى الخلية المستقبلية ليس وقتاً موحداً . فبعض الخلايا تبدأ تقريباً فور خلط خلايا F^- وخلايا Hfr بينما يكون بدء انتقال المواد الكروموسومية من الخلية المعطية الى الخلية المستقبلية متأخراً لفترات زمنية مختلفة .

أمكن بعد دراسات عديدة وضع الخريطة لكروموسوم بكتيريـا القولون *E. coli* كما هي موضحة في الشكل (٢-١٧) .



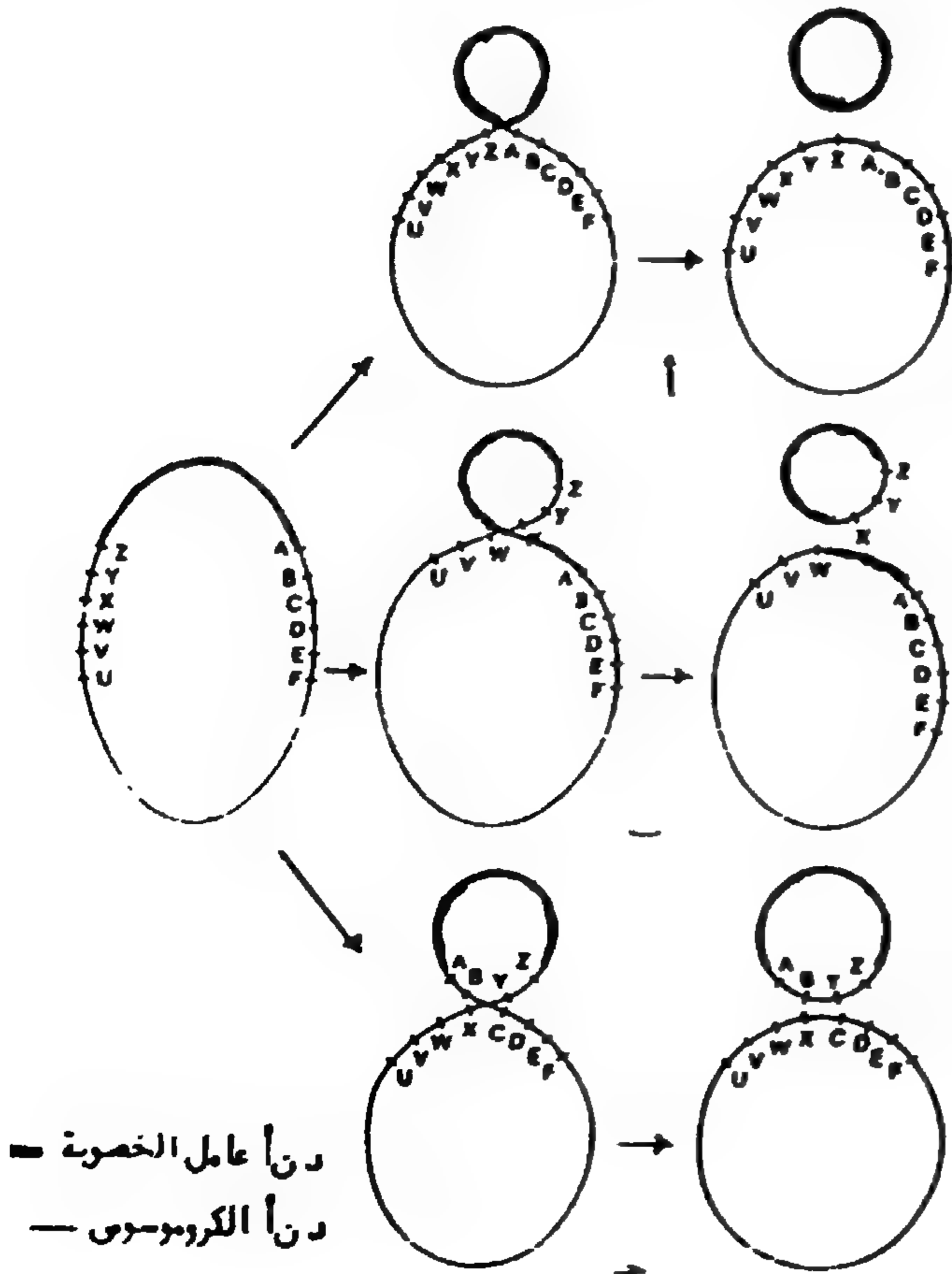
وقت التزاوج (الذي أخذت عنده عينات من بدء التزاوج)

شكل ٣-١٩ : كينتيكية تكوين التبادل الوراثي

عن Wollman & Jacob المورث A هو أقرب المورثات لمكان عامل الخصوبة على الكروموسوم ويليه المورث B ويليه المورث C وهكذا

أصل خلايا F' وسلوكها في التزاوج :

وقد سبق أن وضحنا أن كل مجتمع من خلايا Hfr (التي يكون عامل الخصوبة في خلاياها مند مجا مع الكروموسوم) ينفصل عامل الخصوبة عن الكروموسوم في خلية من كل ١٠ خلية ليكون خلايا F^+ . ومعظم حالات الانفصال تحدث في نفس مكان الاتصال بالكروموسوم مكونة خلايا F^+ المذكورة ، ولكن كحدث نادر لا يحدث الانفصال في نفس مكان الاندماج ... ولكن يحدث الانفصال في نقط أخرى بحيث أن عامل الخصوبة الدائري المتكون نتيجة للانفصال يحمل مورثات من الكروموسوم (شكل ١٩-٤) . وفي مثل هذه الحالة تسمى الخلية F' أولية (شكل ١٩-٤) . وعندما تكون المورثات الكروموسومية تسمى Primary F-prime .



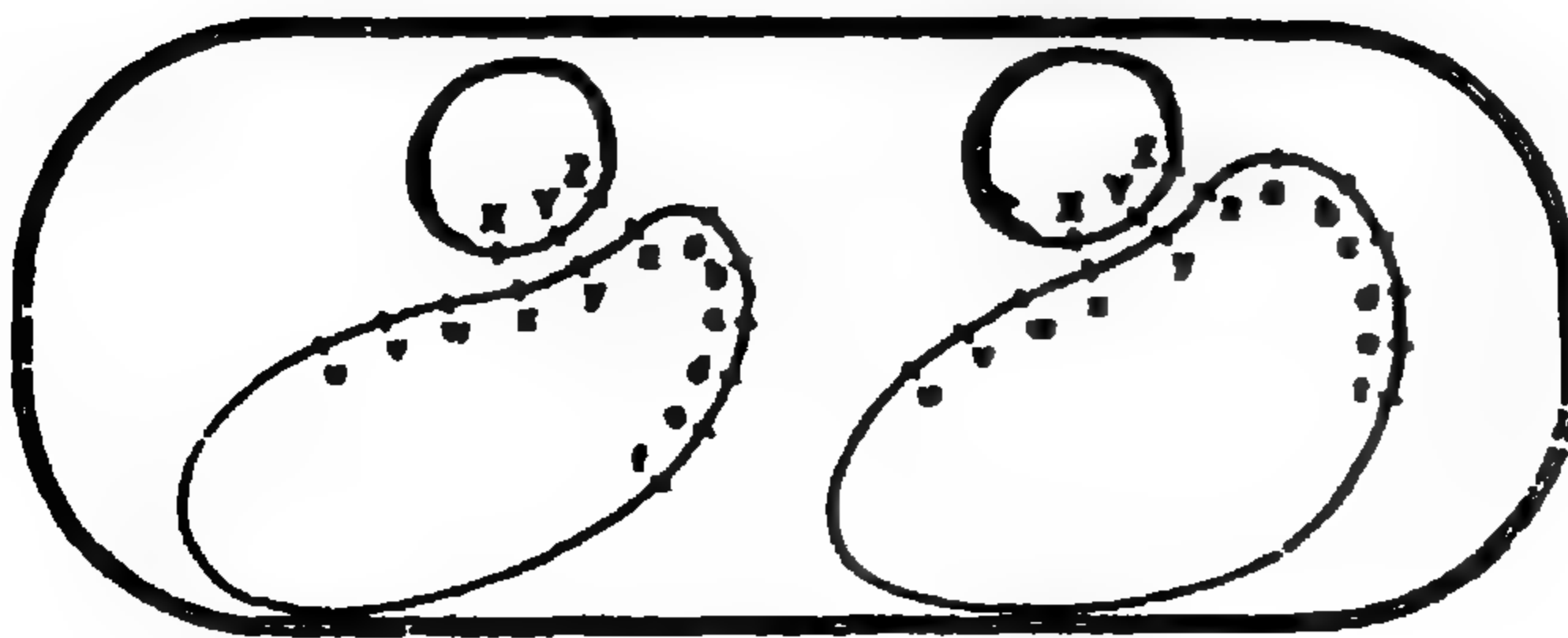
شكل ١٩-٤ : تكوين المادة الوراثية لعامل الخصوبة في خلايا F' الأولية. على اليسار يبدأ كروموسوم خلية Hfr متكامل مع عامل الخصوبة ثم على اليمين ثلاث نظم لانفصال عامل الخصوبة عن الكروموسوم .

أ - الانفصال في نفس نقط الاتصال الأصلية .
ب - الانفصال مع تبادل جزء من المواد الوراثية بين الكروموسوم وعامل الخصوبة .
ج - الانفصال مع انتقال بعض المورثات من الكروموسوم الى عامل الخصوبة .
في الحالات ب ، ج تتكون خلايا F' الأولية والتي تحتوي على نسخة واحدة من المورثات Haploid وعند انتقال عامل الخصوبة ب ، ج الى خلية مؤنثة تتكون خلية F' ثانوية تكون ثنائية النسخ لبعض المورثات .

— دنا عامل الخصوبة
— دنا الكروموسوم

أصبحت جزءاً من عامل الخصوبة هامة جداً للخلية بحيث لا يمكن للخلية الاستغناء عنها مثل المورثات المسئولة عن تضاعف المادة الوراثية النوويّة أو مورثات بناء الحمض النوويّ رناً فإن عامل الخصوبة الذي يحمل هذه المورثات الهامة يمكن اعتباره كروموسوماً ثانياً في الخلية ويؤدي فقدّه إلى موت الخلية .

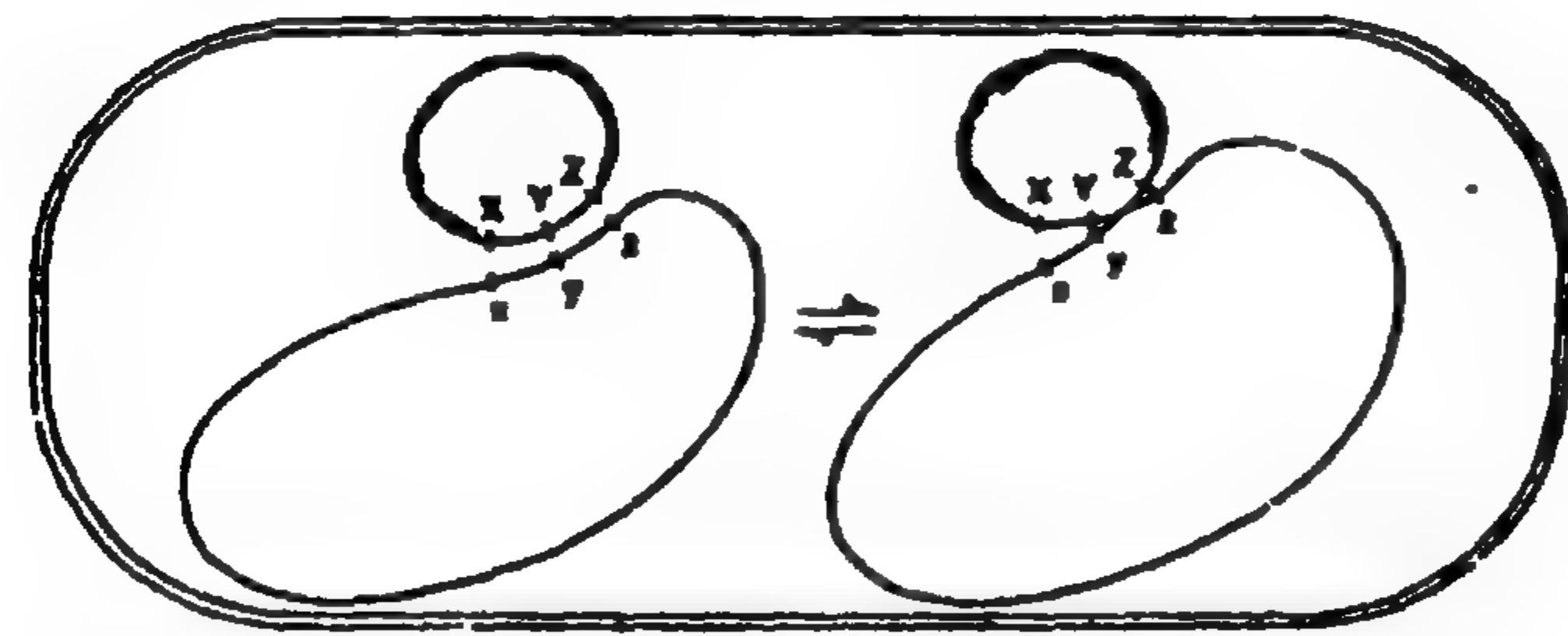
عندما تتزاوج خلايا مذكرة من نوع F' الأولية (وهي خلايا ذات قدرة عالية على تكوين الخلطات الوراثية أيضاً) مع خلايا مؤنثة F^- فإن نسخة من عامل الخصوبة الذي يحمل مورثات بكتيرية كروموسومية تنتقل من الخلايا المعطية F' إلى الخلايا المستقبلية F^- وتتحوّل الخلايا المستقبلية F^- إلى خلايا F' وتسمى في هذه الحالة الخلايا الثانوية F' Secondary F' (شكل ١٩-٥) تمييزاً لها عن خلايا F' الأولية . وتختلف خلايا F' الأولية عن F' الثانوية في أن F' الثانوية تكون المادة الوراثية الأجنبية التي وصلت إليها تحمل نسخة إضافية من مورثات كانت موجودة أصلاً في الخلية ، وبذلك فإن عامل الخصوبة في F' الثانوية بما يحمل من مورثات يمكن الاستغناء عنه ، أما في حالة خلايا F' الأولية فإن المورثات التي يحملها عامل الخصوبة قد لا يمكن الاستغناء عنها لأنها هي النسخة الوحيدة التي انفصلت عن الكروموسوم كما سبق إيضاحه .



شكل ١٩-٥ : خلية F' ثانوية ، حيث تحتوى الخلية على نسختين غير متماثلتين من المورثات X, Y, Z .

دنا عامل الخصوبة
دنا الكروموسوم

وما هو جدير بالذكر أن خلايا F' الثانوية والتي تحتوى على كروموسوم كاملا وعامل خصوبة محتويا على نسخ من بعض المورثات الموجودة على الكروموسوم تكتسب صفة الازدواجية Diploidy بالنسبة لبعض المورثات ، ونظرا لوجود أجزاء كبيرة من الحمض النووي دنأ ذات ترتيب متماثل على كل من الكروموسوم وعامل الخصوبة (لاحتوائهما على بعض مورثات مشتركة) فإن اندماجهما وانفصالهما يحدث بصفة مستمرة الى أن يحدث اتزان بين خلايا F' الثانوية وخلايا Hfr الناتجة عنها . (شكل ١٩-٦) .



— دنأ عامل الخصوبة
— دنأ الكروموسوم

شكل ١٩-٦ : حدوث
الاتزان بين خلايا
Hfr وخلايا F' نتيجة
انفصال عامل الخصوبة +
بعض المورثات من
كروموسوم خلايا Hfr

ثالثا : الحمل بالفاج Transduction

سبق مناقشته عند مناقشة الفيروسات .

الفصل العشرون

وراثة الأحياء الدقيقة حقيقية النواة

وبوليوسيتها الجزيئية

التبادل (الخلط) الوراثة في الأحياء الدقيقة حقيقية النواة:
Genetic Recombination in Eucaryotic Protists

أولا : التبادل الوراثة أثناء الانقسام الاختزالي :

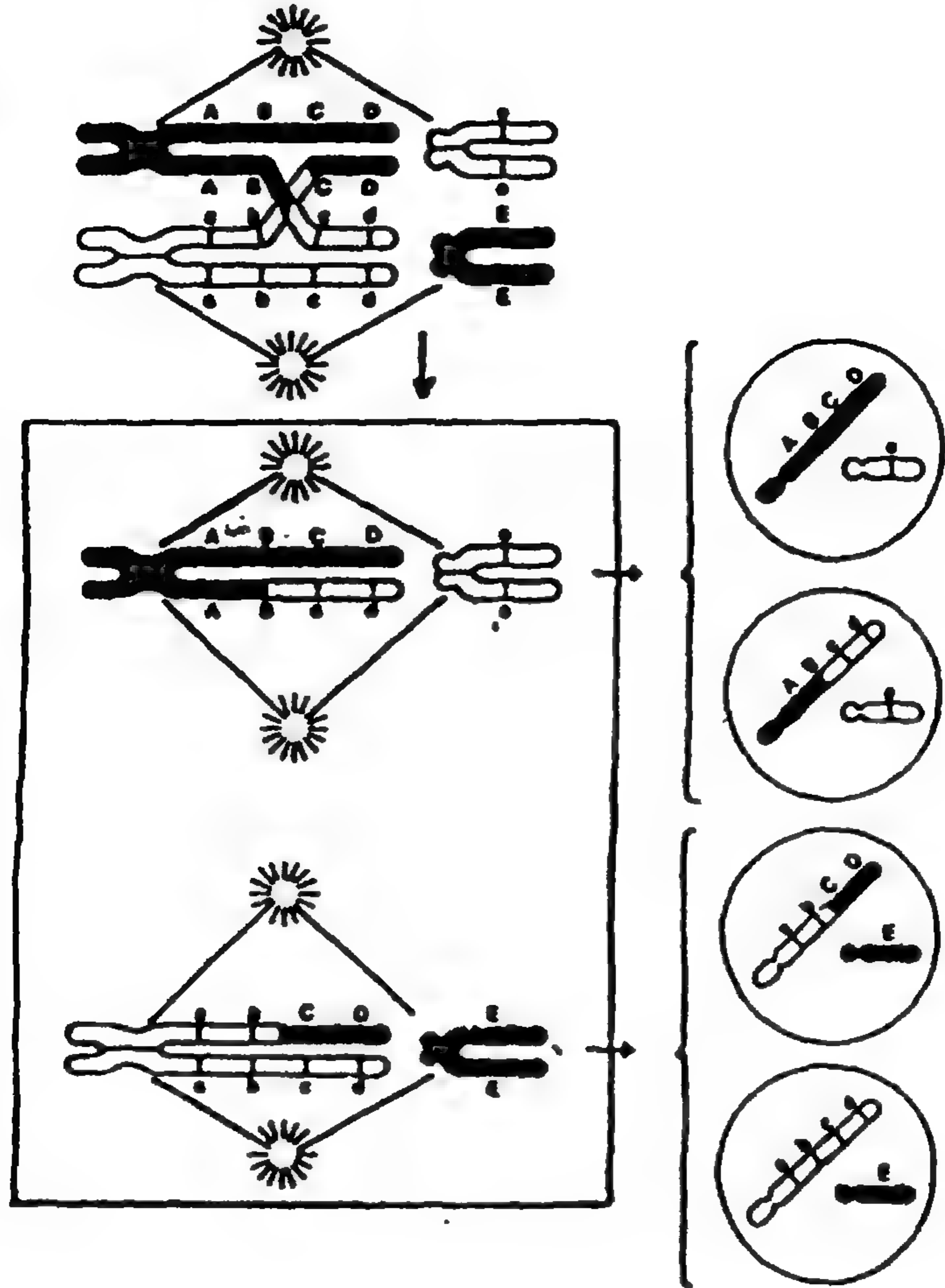
Meiotic recombination

تتميز الأحياء ذات النواة الحقيقية بوجود ما يعرف باسم دورة حياة جنسية وتتكون الخلطات الوراثة المختلفة في الكروموسومات أثناء الانقسام الاختزالي Meiosis . وخطوات حدوث الخلط الوراثة في هذا الانقسام الاختزالي موضحة تفصيلا في الشكل (٢٠-١) ومنه يمكن معرفة أن الخلط الوراثة في ذات النواة الحقيقية يتم بطريقتين :

- ١- نتيجة تجمع عدد من الكروموسومات الأبوية المعينة مع بعضها .
- ٢- بحدوث تبادل بين أجزاء من الكروموسومات ذات الكروماتيدات المتشابهة من خلال العبور Crossing-over الوراثة .

فاذا أعطى أحد الأبوين صفتين على كروموسومين مختلفين كما في المورثات A E في الشكل (٢٠-١) فان كلا الصفتين لهما فرصة الظهور في أى خلية ناتجة عن الانقسام بنسبة ٥٠ % . أما اذا كانت الصفتين الوراثةيتين على نفس الكروموسوم مثل المورثين A و B على الشكل (٢٠-١) فان هاتين الصفتين ستظلان متلازمتين اذا كان المورثين المسئولين عنهما مرتبطين Linked الا اذا حدث عبور وراثي بينهما وبالطبع فان احتمال حدوث عبور وراثي بين أى مورثين مرتبطين على نفس الكروموسوم يزداد بزيادة المسافة بينهما .

لذلك ... فان المسافة النسبية بين أى مورثين أبويين مرتبطين يمكن تقديرها بقياس المعدل النسبي لحدوث الخلطات الوراثةية بين



شكل ٢٠-١ : التبادل الوراثي في الانقسام الاختزالي
حيث يحدث تبادل وراثي بين الكروموسومات وينتهي بتكون ٤ خلايا يحتوي كل
منها على نصف عدد الكروموسومات مع حدوث تبادل وراثي بين بعض الكروماتيدات

هذين المورثين أثناء حدوث الانقسام الاختزالي . وبعمل تلك القياسات
للعديد من أزواج المورثات فانه يمكن عادة رسم خريطة وراثية لكسل
كروموسوم . وقد تم فعلا عمل الخرائط الوراثية للعديد من الفطريات
بما في ذلك الفطر Neurospora crassa والفطر Aspergillus nidu-
lans والخميرة Saccharomyces cerevisiae وكذلك الطحلب
وحيد الخلية Chlamydomonas reinhardi .

ويعتقد أن الحمض النووي دن أ في كروموسومات ذوات النواة الحقيقية هو عبارة عن جزيء واحد مستمر من الحمض النووي دن أ مزدوج السلسلة في شكل لولب ملتف على بعضه بصورة غير واضحة حتى الآن . وعند ما يتضاعف الكروموسوم فإنه يتحول الى كروماتيداتين (٢ كروماتيدة 2 Chromatides) وكل كروماتيدة تحتوي على جزيء واحد من الحمض النووي دن أ مزدوج السلسلة ، ويعتقد أيضا أن آلية حدوث العبور بين الكروماتيدات المتجاورة هي آلية ماثلة لما يحدث في الفيروسات والأحياء الدقيقة بدائية النواة ، كما سبق ذكره .

تحويل المورث Gene conversion

عند بداية الانقسام الاختزالي (الميوزي Meiosis) فان أزواج الكروموسومات تكون ممثلة بأربع Tetrad من الكروماتيدات (تأتنى كل اثنين من الكروماتيدات من أحد الأبوين) وعند نهاية الانقسام الاختزالي فان الأربع كروماتيدات تنفصل في أربع خلايا بنوية أحادية المجموعة الصبغية (الكروموسومية) Haploid وفقا لما جاء في الشكل (١-٢٠) . فاذا كان المورث (العلامة الوراثية Genetic marker) (A) ممثلا بأربع مواقع Alleles على الكروماتيدات الأربع ، اثنتين منها (A) واثنين منها (a) فان هذه المواقع لا بد وأن تظهر في الخلايا البنوية الأربع بنفس العدد أي أن اثنتين من الخلايا البنوية ستحمل المورث (a) والاثنين الأخرتين من الخلايا البنوية ستحمل المورث (A) . وهذا التوزيع هو ما يعرف باسم التوزيع أو الفصل المندلي Mendelian segregation إشارة الى مكشفيها العالم مندل Mendel .

وفي عدد من الأحياء الدقيقة حقيقية النواة مثل الفطريات الأسكية أمكن عزل النواتج الأربعة للانقسام الاختزالي (الميوزي) وأمكن دراسة توزيع المورثات الأبوية فيما بين الخلايا البنوية الأربع وتسمى مثل تلك الدراسة بالتحليل الأربعى Tetrad analysis . وقد أثبتت تلك

الدراسات التوزيع (الفصل) المندلي للمورثات الأبوية في معظم الحالات ولكن ليس كلها . قد وجدت حالات استثنائية لا يتم التوزيع المندلي فيها بنسبة ٢ : ٢ كما سبق الذكر ولكن يتم التوزيع فيها بنسبة ٣ : ١ . فمثلا اذا كانت المورثات في بداية الانقسام الاختزالي هي المواقع (a) , (a) , (A) , (A) فان الخلايا البنوية الناتجة عن هذا الانقسام يكون ثلاثة منها تحتوى على الموقع (A) وواحدة فقط تحتوى على الموقع (a) وعلى ذلك فان أحد المواقع يكون قد تحول من (a) الى (A) أثناء العبور الوراثي للكروماتيدات ، وتسمى هذه الظاهرة باسم تحول المورث Gene conversion .

وما زالت خطوات حدوث هذا التحول غير واضحة ، كما ثبت أيضا حدوث ظاهرة تحول المورث دون حدوث عبور وراثي بين الكروماتيدات وان كانت أقل شيوعا .

ثانيا : التبادل الوراثي أثناء الانقسام غير المباشر :

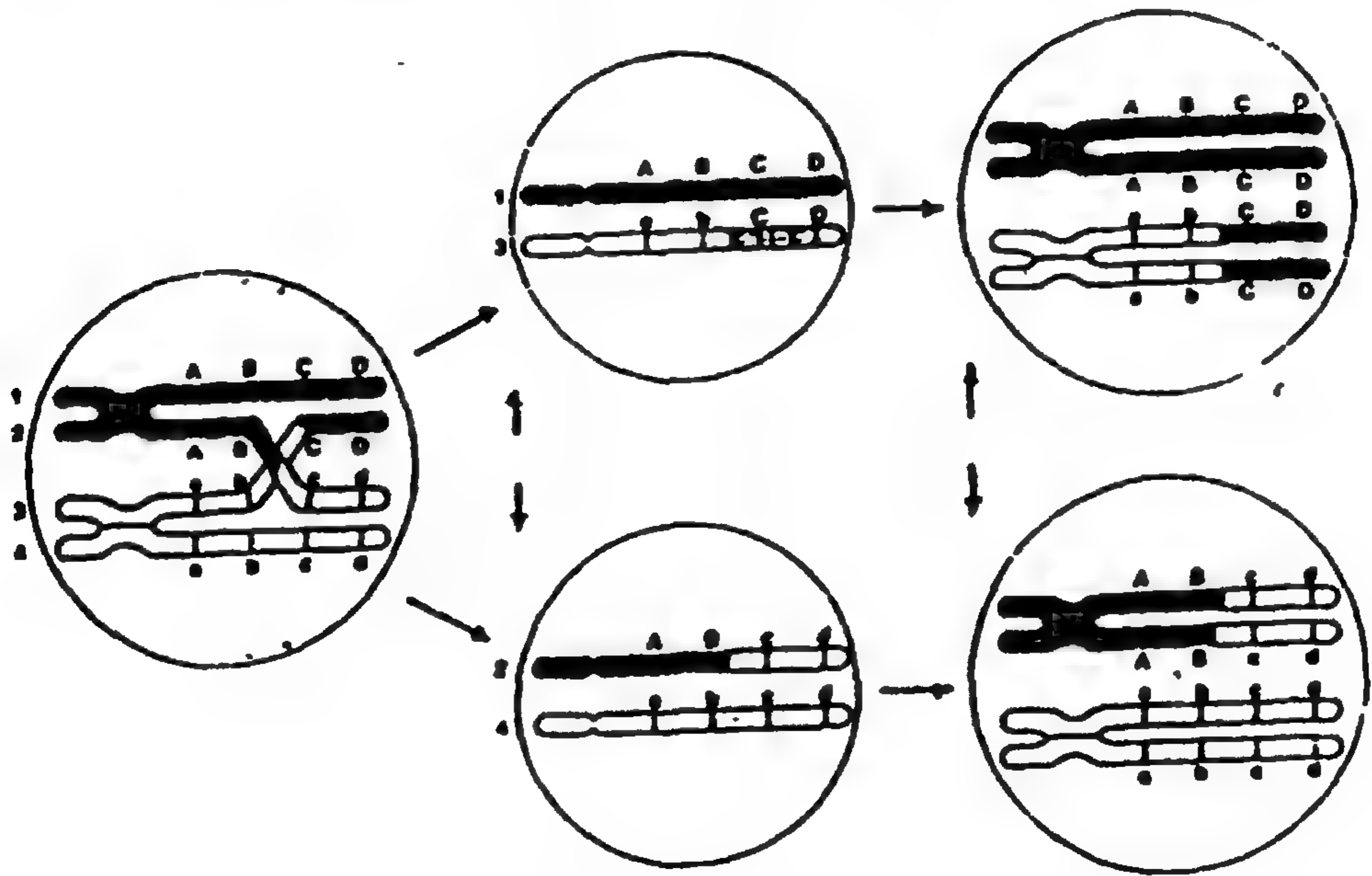
Mitotic recombination

تكاثر كثير من الأحياء الدقيقة ذات النواة الحقيقية ثنائية الصبغيات Diploid بالانقسام غير المباشر Mitosis وهذه الخلايا ثنائية الصبغيات قد تنقسم بالانقسام الاختزالي Meiosis كما في حالة الخمائر المتجترمة Sporulating Yeasts . وقد تستمر في الانقسام غير المباشر بصفة مستمرة .

وفي أثناء الانقسام غير المباشر فان الكروموسومات المتشابهة قد يحدث فيها عبور وراثي Crossing over كما يحدث في الانقسام الاختزالي ، ولكن العبور الوراثي في الانقسام غير المباشر أقل حدوثا عنه في الانقسام الاختزالي . فاذا حدث العبور الوراثي بين المركز الصبغي Centromere وأى (مورث Gene) علامة وراثية genetic marker غير متجانسة Hetrozygous فان ٥٠% من الخلايا البنوية

الناجمة تصبح متجانسة Homozygous بالنسبة لهذه العلامة الوراثية وما يليها من علامات وراثية أخرى في الناحية البعيدة عن المركز الصبغي Centromere كما في الشكل (٢-٢٠) ... ولذلك فإن الصفات الظاهرية Phenotype للخلايا الأختية الناتجة قد تتغير نتيجة تحول بعض العلامات الوراثية من الحالة غير المتجانسة الى الحالة المتجانسة حيث تظهر بعض الصفات المتنحية Recessive phenotype.

ولزيادة الايضاح في شكل (٢-٢٠) لنفترض أن المورث D (صفة سائدة dominant) يحمل المعلومات الوراثية لتكوين صبغة جراثيم أحد الفطريات وهي صبغة خضراء (بالنسبة للسلالة البرية) ولنفترض



شكل ٢-٢٠: التبادل الوراثي في الانقسام غير المباشر.
يحدث عبور وراثي بين العلامتين الوراثيتين B و C حيث تتجه اثنتين من الكروماتيدات الى كلا من الطرفين على غير ما يحدث في الانقسام الاختزالي (شكل ١-٢٠) حيث يهاجر الى الأطراف كروماتيدة واحدة. ونتيجة للانقسام غير المباشر في هذا المثال تصبح احدي الخلايا البنيوية تحتوي على نسختين للمورثين D و C السائدين Dominant بينما تصبح الخلية البنيوية الأخرى تحتوي على نسختين للمورثين d و c المتنحيين Recessive.

أن المورث d (صفة متحية) يحمل المعلومات الوراثية لتكوين صبغنة صفراء لجراثيم احدى طفرات نفس الفطر . فالجراثيم التي تحمل D/D أو D/d ستكون بالطبع خضراء ، أما الجراثيم التي تحمل d/d نتيجة للمعبور الوراثي أثناء الانقسام غير المباشر Mitotic crossover ستصبح صفراء .

ويمكن كذلك استخدام المعبور الوراثي في الانقسام غير المباشر في رسم الخرائط الوراثية للكروموسومات المختلفة . ففي شكل (٢٠-٢) يمكن استنتاج أن مورثات D ، C ، B ، A مرتبطة Linked اذا حدث عبور وراثي واحد في موقع بين المركز الصبغي Centromere والمورث ينتج عنه تكوين خلايا متجانسة بالنسبة للمورثات الأربعة كلها A ، B ، C ، D . بينما يؤدي حدوث العبور الوراثي بين A ، B ينتج عنه خلايا متجانسة بالنسبة للمورثات D ، C ، B وهكذا . وكما هو الحال بالنسبة للانقسام الاختزالي فان المسافة النسبية بين كل مورثين تتناسب مع معدل حدوث العبور الوراثي . فكلما زادت المسافة بين أى مورثين على نفس الكروموسوم كلما زاد معدل حدوث عبور وراثي بينهما ، ويمكن زيادة معدل حدوث العبور الوراثي في أثناء الانقسام الاختزالي ببعض المواد التي تسبب الطفرات السابقة الذكر (في الفصل الثامن عشر) .

الأفراد ذات العوامل الوراثية المختلفة Hetrocaryosis والتزاوج بين افراد نفس الجنس Parasexuality في الفطريات:

في الأحياء الراقية يمكن التمييز بين الذكر والأنثى في أفراد نفس النوع وفقا لصفات معينة ، أما في بعض الأحياء الدقيقة حقيقية النواة يكون التمييز صعبا ... أو مستحيلا كما في بعض الفطريات ، لذلك فنشير ما يشار الى طرفي التزاوج لنفس النوع باسم المتزاوج Mating type والمتزاوج الآخر Opposite mating type .

في بعض الفطريات قد يحدث نوع من التزاوج بين هيفات نفس المتزاوج Mating type ولكن ذلك لا يؤدي الى اكتمال دورة جنسية (المقصود بالدورة الجنسية هو حدوث تزاوج بين أبوين مختلفين جنسيا لنفس النوع وتكوين أفراد (أبناء) جديدة تحمل صفات وراثية ناتجة عن الأبوين) بل أفراد جدد تحمل أنوية من كلا الهيفتين الأبويتين (وكلاهما من نفس المتزاوج) ويلاحظ أن أنوية كل هيفا تهاجر الى الهيفا الأخرى وذلك لأن الميسليوم متعدد الأنوية وتكون الصفات الظاهرية للميسليوم ناتجة عن التعبير عن الصفات الوراثية للأنوية المختلفة في الميسليوم.

وفي معظم الحالات لا يحدث اندماج لتلك الأنوية ولكنها تنقسم بالانقسام غير المباشر بطريقة مستقلة. لذلك تسمى هذه الأفراد باسم الأفراد ذات العوامل الجنسية المختلفة Hetrocaryous. ومثل تلك الفطريات تحمل صفات الأبوين وان كانت جميع الأنوية بها أحادية الصبغيات Haploid.

التبادل (الخلط) الوراثي في مواد غير نووية:

في مجموعة من الفطريات وهي الخمائر Yeasts ثبت حدوث نوع من التبادل (الخلط) الوراثي السيتوبلازمي بين مورثات فـي الميتوكوندريا لأحد الأبوين ومورثات في الميتوكوندريا في الأب الآخر. وأمكن بذلك أيضا عمل خرائط وراثية للمواد الوراثية في ميتوكوندريـا الخمائر.

وبالمثل ثبت إمكانية حدوث التبادل (الخلط) الوراثي السيتوبلازمي بين المادة الوراثية في البلاستيدات الخضراء لفطر الكلاميدوموناس *Chlamydomonas reinhardi* (وهو فطر وحيد الخلية صغيرا جدا يحتوى على نواة واحدة وبلاستيدة خضراء واحدة وميتوكوندريا واحدة أو عدة ميتوكوندريات، وهذا الفطر يمثل الضوء بصفة اختيارية ويمكنه النمو في الظلام على أملاح الخلـات Acetate كمصدر للكربون والطاقة).

ثبت الاصطلاحات العلمية

(إنجليزي - عربي)

A

انتيجن (مواد مولدة للأجسام المضادة) Antigen	الريغ (عدم الوضوح - التشويش) Abberation
مواد مضادة لنشاط ومسو Antimicrobial agents	الأحياء الدقيقة .
الأحياء الدقيقة .	مقاوم للأحماض Acid fastness
مطهرات للجلد (خارجية) Antiseptic	تأثير الحموضة Acidity effect
المصل المضاد Antiserum	محب للحموضة Acidophiles
عنصر التذكير في الفطريات الرقية Anthridium	نقل نشط Active transport
فطريات مائية Aquatic fungi	آدينين Adenine (A)
مرض نقص المناعة المكتسب Acquired Immune Deficiency Syndrome	استنزاف (أدماض) Adsorption
في الإنسان (الايدز)	الاستجابة الحركية بتأثير الهواء Aerotaxis
تقسيم اصطناعي (غير طبيعي) Artificial classification	أحياء لا هوائية تتحمل anaerobes
مستنباتات (بيئات صناعية) Artificial media	آجار آجار Agar Agar
أكياس أسكية (زقية) Asci	طريقة الانتشار Agar diffusion method
عضو التأنيث في الفطريات الأسكية Ascogonium	آجاروز Agarose
هيفا أسكوجونية Ascogenous hyphae	أكينيتيس Akinetes
أجسام ثعرية Asco carp	طحالب Algae
فطريات أسكية (زقية) Ascomycetes	مبيدات طحالب Algicides
جراثيم (أبواغ) أسكية (زقية) Ascospores	شيطات طحالب Algistatics
كيس أسكي (زقي) Ascus	علم الطحالب Algology (Phycology)
التغذية على (تشيل) Assimilation	
الغلاف الجوي Atmosphere	جلوكو ريدات أمينية Aminoglucosides
مواد جاذبة Attractants	النشدة Ammonification
معقم (اتوكلاف) Autoclave	أميبا Amoeba
التزاوج الذاتي Autogamy	تزاوج بير جاميطات غير متماثلة Anisogamy
التحلل الذاتي Autolysis	مضادات حيوية Antibiotics
الاحتياج لموامل مو معينة Auxotrophy	أجسام مضادة Antibodies

Axenic culture	Bioassay	تقدير تركيز المواد بالطرق الحيوية	مزرعة نقية
Bacteria	Biological assay	مستبغات التقدير	بكتيريا
Bacterial counting	media	الحيوي	عد البكتيريا
Bacterial filters	Biology	علم الأحياء	مرشحات بكتيرية
Bacterial viruses	Biologists	علماء الأحياء	فيروسات بكتيرية
Bacteriophage (Phages)	Biosphere	الغلاف الحيوي (الحياتي)	آلات البكتيريا (الفاجات)
Bacteriocides	Biota	الأحياء	مبيدات البكتيريا
Bacteriology	Biotechnology	علم التقنية الحيوية	علم البكتيريا
Bacteriolytic	Blue green bacteria	البكتيريا الخضراء المزرق	محلل (مذيب) البكتيريا
Bacteriorhodopsin	Botanists	علماء النبات	بكتيريورودوسين
Bacteriostatic	Branched	متفرع	منبط لنشاط البكتيريا
Baker's yeast	Bromothymine	بروموثيمين	خميرة الخباز
Balanced growth	Brown algae	الطحالب البنية	نمو متزن
Barophilic	Budding	تبرعم	محبة للضغط المرتفع
Barotolerant	C		تحمل الضغط المرتفع
Basidia	Capsid	الغطاء البروتيني للفيروسات (كابسيد)	حوامل بازيدية
Basidiomycetes fungi	Capsule	الكبسولة (الملبة)	فطريات بازيدية
	Carboxysomes	كاربوكسيسومات	
Basidiospores	Carnivorous	آكلات اللحوم	جراثيم (أبواغ) بازيدية
Basidium	Cell pool	محتويات خلوية	حامل بازيدي
Berkefeld filter	Cellular membrane	غشاء خلوي	مرشح بركلفلد
Binal shape			شكل مركب
Binary fission	Cell wall	جدار خلوي	انقسام ثنائي بسيط
Binding protein	Centronere	المركز الصبغي	بروتينات الارتباط
Bionomial system of nomenclature	Chamberland filter	مرشح تشمبرلاند	النظام الثنائي للنسبة

Chemically defined media	مستبتات محددة التركيب الكيميائي	Coarse adjustment	ضبط تقريبي
Chemical composition of viruses	التركيب الكيميائي للفيروسات	Coccus	كروي
Chemicals effect	تأثير الكيميائيات	Coenocytic	متعدد الأنوية
Chemoautotrophes	ذاتية التغذية كيميائياً	Cold environment	البيئات الطبيعية الباردة
Chemoheterotrophes	غير ذاتية التغذية كيميائياً	Cold osmotic shock	صدمة البرودة الاسموزية
Chemo receptors	مراكز الاحساس بالكيميائيات	Colicin (col) factor	عامل (الكوليسين)
Chemostat	كيموستات	Coliphage	فيروسات بكتيريا القولون
Chemotaxis	الاستجابة الحركية بتأثير الكيميائيات	Collodion membrane	الغشاء الرغوي
Chemotherapeutic agents	مواد كيميائية علاجية (الأدوية)	Colony	مستعمرة
Chemotrophic	أحياء تعتمد طاقتها من التفاعلات الكيميائية	Columella	نهاية الحامل الجرنوي
Chlorobium vesicles	فجوات الكلوروبيم	Complex shape	شكل معقد
Chlorophyll	الكلوروفيل (المخضر)	Condensor	مكثف
Chlorophyta	الطحالب الخضراء	Conical	مخروطي
Chloroplasts	البلاستيدات الخضراء	Conidiophor	حامل كونيدي
Chromosome	كروموسوم (صبغية)	Conidiospores (conidia)	جراثيم (أبواغ) كونيدية
Chromosome mapping	وضع (رسم) خريطة الكروموسوم	Conjugation	التزاوج (الاتصال)
Chromosome replication	تضاعف الكروموسوم	Conjugative Plasmids	بلازميدات الاتصال
Chrysophyta	الطحالب الذهبية	Contamination	تلوث
Cilia	أهداب	Continuous culture	الزراعة المستمر
Ciliates	الهدبيات (ذوات الأهداب)	Contractile tail	ذيل قابل للانقباض
Ciliophera	حاملات الأهداب	Contractile vacuole	فجوة منقبضة
Classification	تقسيم	Cosmic rays	أشعة كونية
		Core	لب
		Coulter counter	عداد كولتر

Cristae	الثنيات الداخلية لمشا الميتوكوندريا	DNA base composition	تركيب دنا من القواعد
Cross-over	عبور وراثي	dsDNA viruses	فيروسات دنا مزدوج السلسلة
Cross walls	جدر عرضية	ssDNA viruses	فيروسات دنا وحيد السلسلة
Cryophilic	أحيا حبة للبرودة	Density gradient centrifugation	الطرد الكثافي المتدرج
Cryptic mutants	طفرات عاجزة	Deutromycetes	الفطريات الناقصة
Cryptogram	كربتوجرام	Dextrans	الدكسترات
Cultivation	التزريع (الزرع)	Diatomes	الدياتومات
Culture	مزرعة	Differential centrifugation	الطرد المركزي التفريقي
Culture media	مستبتات مزرعية	Diferential media	مستبتات تفريقية
Cyanobacteria	البكتيريا الخضراء المزرقة	Differentiation	التكشف
Cyanophycin	سيانوفايسين	Dinoflagellates	الطحالب السوطية (السوطيات الطحلبية)
Cytopharynx	البلعوم في الهدبيات	Dipicolinic acid	حمض دي بيكولينيك
Cytoplasmic membrane	غشاء سيتوبلازمي	Diploid	ثنائي المجموعة الصغية (مزدوج الصغيات)
Cytoproct	فتحة الاست في الهدبيات	Direct count	العد المباشر
D		Disinfectants	المطهرات السطحية
Dark field microscopy	مجهر الحقل المظلم	Dissecting microscope	مجهر التشريح
Daughter cells	الخلايا الاختية	Donor cell	خلية معطية
Death phase	مرحلة الموت	Double hilex	تركيب حلزوني مزدوج
Degradative plasmid	بلازميدات التحطيم	Doubling time	وقت تصاعف العدد
Detection	الكشف عن	Dynamic	نشط أو ديناميكي
Denitrification	اختزال (نزع) النيترات	E	
Denitrifying bacteria	بكتيريا اختزال النترات	Ecosymbiosis	التكافل الخارجي
Deoxyribonucleic acid-DNA	حمض دي أوكسي ريبونوكليك دنا	Electrone microscope	مجهر الكتروني

Electrophoresis	الهجرة في مجال كهربى	F	
Endocytosis	الادخال (التناول)	Facilitated diffusion	الانتشار المدعم
Endogenote	المادة الوراثية الداخلية	Facultative	اختياري
Endomixis	الاختلاط الذاتى	- anaerobic	لاهوائى اختياري
Endoplasmic reticulum	الشبكة الاندوبلازمية	- halophile	محب للملح اختياري
Endospore	جراثيم (أبواغ) داخلية	Female (F ⁻) cells	خلية مؤنثة (بكتيريا)
Enrichment	دعم (بمغذيات أو بظروف خاصة)	Fermentation	تخمير
Enteric bacteria	بكتيريا الأمعاء	Ferns	السرخسيات
Envelope	الغلاف	Fertility (F) factor	عامل الخصوبة (الذكورة)
Enveloped	مغلقة	Fiberils	ألياف ذيلية
Environment	بيئة	Filamentous	خيوطى
Enzyme	انزيم	Filosa	خيطية الأقدام الكاذبة
Episome	العامل الجنسى	Filterable viruses	الفيروسات القابلة للترشيح (الرشيحات)
Euactinomycetes	الأكتينومايسيتس الحقيقية	Filter paper	طريقة أفراص ورق الترشيح
Eucaryotes	حقيقية النواة (ذوات النواة الحقيقية)	disc method	
Euglenophyta	الطحالب اليوجلينية	Pimbrae	زوائد عادية في البكتيريا
Eurothermal	مدى واسع من درجات حرارة النمو	Fine adjustment	ضبط دقيق
Exocytosis	الأخراج (الطرود)	Flagella	أسواط (فلاجلات)
Exoenzymes	انزيمات خارجية	Flagellates	الموطيات (بروتوزوا)
Exogenote	المادة الوراثية الأجنبية	Flagellin	فلاجلين (بروتين الأسواط)
Exosporium	الغلاف الخارجى للجراثيم	Florescence	فلورسنت
Exponential growth	نمو لوغاريتمى	Food Chain	سلسلة الغذاء
Extreme	أحيا، تتطلب محاليل شبعة من	Food vacuole	فجوة غذائية
halophiles	الملح بصفة اجبارية	Foraminifera	المنقبات

Fossils	الحفريات	Genotype	صفات وراثية
Free radicals	أصول حرة	Genus	جنس
Freezing effect	تأثير التجميد	Germ-free animals	حيوانات خالية من الأحياء الدقيقة
Freezing of microbial culture	تجميد الزراع البكتيرية	Germicides	مبيدات أحياء دقيقة
Fruiting structure	أجسام ثمرية	Germination	انبات (للجراثيم)
Fungi	الفطريات	Germistatics	مثبطات الأحياء الدقيقة
- gardens	حدائق الفطر	Gliding	حركة انزلاقية
Fungicides	مبيدات الفطريات	Glycolipids	جليكوليبيدات
Fungistatic	مثبطات الفطريات	Glycoproteins	جليكووبروتينات
G		Glyoxysomes	جليوكسومات
Gameteangium	كيسار حامل جاميطي	Golgi bodies	أجسام جولجي
Gametes	جاميطات	Gonidia	الجونيد
Gametophyte	طور جاميطي	Gram stain	صبغة جرام
Gametothallus	ثالوس جاميطي	Green bacteria	البكتيريا الخضراء
Gas vesicles	فجوات غازية	Group translocation	النقل المصحوب بالتغيير الكيميائي
Gas vacuole	فجوات غازية	Growth	النمو
Gel-Chromatography	فصل كروماتوجرافي هلامي	- cycle	دورة النمو
Gene	مورث (جين)	- efficiency	كفاءة النمو
- conversion	تحول المورث	- factors	عوامل النمو
- therapy	معالجة المورثات	- factor analogue	شبيهات عوامل النمو
Generation time	وقت جيل	- individual cells	نمو الخلايا المفردة
Genetic code	شفرة وراثية	Guanine (G)	جوانين
Genetic marker	علامة وراثية		
Genetic recombination	خلط (نيكس)		
Genome	جانب وراثي	Haemagglutinating spikes	جهاز التلاصق الدموي

Haemagglutination	تلاص الدم	Hydrosphere	الغلاف المائي (للأرض)
Halophilic	محبة للملوحة	Hypha (Hyphae)	هيفات (هيفات) الفطرياً
Haploid	أحادي (مجرد) المجموعة الصيفية (الصفات)	I	
Helical	حلزوني	Icosahedral	متعدد (عديد) الأوجه
Heliozoa	النسيات	Identification	علم التعرف
Herbivorous	آكلات العشب	Imperfect fungi	الفطريات الناقصة
Heterocaryosis	التزاوج من الأفراد ذات العوامل الوراثية المختلفة	Immunology	علم المناعة
Heterocysts	ووصلات	Inclusion bodies	الأجسام السدمية الداخلة
Heteroduplex	متباين السلاسل (الجداول)	India ink	الحبر الهندي
Heterothallic	متباين الثالوس	Infectious plasmids	البلازميدات المعدية
Heterozygous	متباير الزيجوت	Infrared	تحت الحمراء
High frequency recombinant	خلايا ذات قدرة عالية على نقل الصفات (Hfr) (التبادل الوراثي)	Influenza	مرض الانفلونزا
High temperature environments	البيئات الطبيعية مرتفعة الحرارة	Infusaria	انفيوزاريا
Histones	هستونات	Inoculation	لصقة (للأحياء الدقيقة)
Hold fast	مزودة بأجهزة لتثبيت نفسها	Inoculation room	حجرة تلقيح للأحياء الدقيقة
Homologies	مدى تماثل سلاسل الأحماض النووية بعضها لبعض	Integration	تكامل
Homologous sequence	ترتيباً متماثلة لسلاسل الأحماض النووية بعضها لبعض	Interferon	انترفيرون
Homothallic	متماثل الثالوس	Internal membrane	أغشية داخلية
Homozygous	متجانسة	International Committee on Taxonomy of Viruses (ICTV)	اللجنة الدولية لتقسيم الفيروسات
Hormogonia	هورموجونيا	International Union of Microbiological Societies (IUMS)	الاتحاد الدولي للجمعية الميكروبيولوجية
Hot springs	ينابيع الماء الساخنة الطبيعية	Ionizing radiation	أشعة التأين
Hydrophilic	محبة للماء	Irreversible	غير رجعي
Hydrophobic	كاره (غير محبة) للماء	Isogamy	تزاوج بين جاميطات متشابهة

Isolation	المرل	M	
	R	Macromolecules	جزيئات كبيرة
Kinetics of death	حركية (كينيتيكية) الموت	Macroorganisms	أحياء كبيرة
		Male cells	خلايا مذكرة
Kineties	الجهاز الحركي للهدبيات	Mastigophora	السوطيات (مروتوزوا)
Kinetosomes	أجسام حركية	Mating type	المتزاوج (أحد المتزاوجين)
Kingdom Animalia	المملكة الحيوانية	Matrix protein	المروتين الشبكي
Kingdom Plantae	المملكة النباتية	Maximum temperature	درجة الحرارة القصوى
Kingdom Procaryotae	مملكة بدائية النواة	Media	مستنباتات (بيئات صناعية)
	L	Meiosis	الانقسام الاختزالي
Lag phase	المرحلة التمهيدية	Meiosporangia	أكياس جراثيمية إسبورانجية تحتوي على أبواغ أحادية المجموعة الصبغية
Lateral bodies	أجسام جانبية	Meiotic recombination	التبادل الوراثي في الانقسام الاختزالي
Leucophytes	الطحالب البيضاء	Meiospores	أبواغ (جراثيم) أحادية المجموعة الصبغية
Lichens	الآشنات (تكاثر فطر مع طحلب)	Membrane filters	المرشحات الغشائية
Lipids	ليبدات (دهون)		
Lipopolysaccharides	عديدات سكرية دهنية	Membrane vesicles	البثورات الغشائية
Liquid media	مستنباتات سائلة		
Lithosphere	اليابسة	Merozygote	زيجوت (لاقحة)
Lopodia	أنبوبية الأقدام الكاذبة	Mesophilic	محب للحرارة المتوسطة
Longitudinal fission	انقسام طولي	Mesosomes	ميسوسومات
		Metabolism	الأيض (التمثيل الغذائي)
Loop	اسرة تلقيع ذات عقدة	Metal shadowing	التظليل بالمعادن
Lophotrichous	طرفية الأسواط	Microaerophilic	أحياء دقيقة تحتاج لكميات صغيرة من الأكسجين
Lovibond comparator	صندوق مقارنة الألوان	Microbes-Micro-organisms	أحياء دقيقة (ميكروبات)
Lysosomes	ليسوسومات	Microbiology	علم الأحياء الدقيقة

Micromanipulator	جهاز العزل الدقيق	Mucilage	مواد حيلاتينية أو مخاطية
Microtubular structure	نظام الأنابيب الدقيقة	Mucopeptide	ميوكوسيد
Microtubules	أنابيب دقيقة	Multicellular	عدد الخلايا
Micrometer	ميكرومتر (من المتر) $\frac{1}{1000}$	Murein	ميورين
Microscope	مجهر	Mushroom	عيش الغراب (فطر)
Mineral base	أساس (قاعدة) أملاح معدنية	Mutagensis	أحداث الطفرات
Mineralization	المعدنة	Mutants	الطفرات
Minimal inhibitory concentration (MIC)	أقل تركيز مثبط للنمو	Mutation	التغير
Minimum temperature	درجة الحرارة الدنيا (الصغرى)	Mycelium	ميسليوم
Mitochondria	ميتوكوندريا	Mycology	علم الفطريات
Mitosis	الانقسام غير المباشر	Mycorrhizia	ميكوريزا (تكافل فطر مع جذر نبات)
Mitosporangia	أكياس اسبورانجية تحتوي على أبواغ ثنائية المجموعة الكروموسومية (الصفية)	Myxobacteria	ميكسوبكتيريا
Mitospores	أبواغ (جراثيم) ثنائية المجموعة الصفية	Myxomycetes	الفطريات اللزجة
Mitotic recombination	التبادل الوراثي في الانقسام غير المباشر	N	
Mixed culture	مزرعة مختلطة	Naked	معرأة (بدون غلاف)
Mixed flagellation	مختلط الأسواط	Natural classification	التقسيم الطبيعي
Moist heat	الحرارة الرطبة	Natural microflora	الميكروفلورا الطبيعية
Mold	عفن (فطر)	Negative staining	الصبغ السالب
Monotrichous	وحيدة السوط	Negative strand	السلسلة (الجديلة) السالبة
Morphology	علم الشكل الظاهري	Neuromotor apparatus	جهاز حركي عصبي
Mosses	الحزازيات	Nitrate assimilation	تمثيل النترات
Most Probable number (MPN)	العدد الأكثر احتمالا	Nitrification	النترنة
Motile	متحرك	Nitrifying bacteria	بكتيريا النترنة (النترات)
Motility	الحركة	Nitrogen fixation	التثبيت الأزوتي (النيتروجيني)

Nomenclature	التسمية	Organelles	عضيات (تصفر أعضاء)
Non-septate	مقسم بحد عرضية	Osmophilic	أحياء محبة للتركيزات المرتفعة من السكر
Nuclear genome	مادة وراثية نووية	Osmoregulation	تنظيم الضغط الأسموزي
Nuclear membrane	غشاء نووي	Osmosis	الانتشار الغشائي
Nucleic acids	أحماض نووية	Osmotic lysis	الانفجار الأسموزي
Nucleic acid hydrobidization and homologues	تهجين الأحماض النووية وتماثلها	Osmotic pressure	الضغط الأسموزي
Nucleocapsid	نيوكليوكابسيد (جسيم فيريون معوي)	Osmotolerant	الأحياء الدقيقة التي تتحمل الضغط الأسموزي المرتفع
Nucleolus	نوية	Osmotrophic	أحياء تعتمد غذاءها عن طريق الانتشار خلال الغشاء الخلوي
Nucleosides	نيوكليوسيدات	Palmella stage	الطور البالميلي
Nucleotides	نيوكليوتيدات	Parasexuality	التزاوج بين أفراد نفس الجنس
Nucleus	نواة	Parental	أبوي
Nucloid	شبيه النواة	Partial zygote	زيجوت (لاقحة) جزئي
Numerical taxonomy	تقسيم عددي	Passive diffusion	الانتشار الانسيابي
		Pasteurization	البسترة
Objective lens	عدسة شبيهة	Pear shaped	شكل الكمري
Obligate aerobic	هوائي حتمي (اجباري)	Penicillin	البنسلين
Obligate anaerobic	لاهوائي حتمي (اجباري)	Penicillinase factor	عامل البنسلينيز
Obligate halophiles	تتطلب الملح حتميا (اجباريا)	Peptidoglycan	بيتيدوجليكسان
Octane plasmid	بلازميد الأوكتان	Peptone	بيتون
Ocular lens	عدسة عينية	Periplasmic space	الحيز البيريبلازمي
Oospore	جراثيم بيضية أو خلية البويضة	Periplast	بيريلاست
Optically active compounds	مركبات نشطة ضوئيا	Peritrichous	محيطية الأسواط
Optimum temperature	درجة الحرارة المثلى	Peroxisomes	بيرواكسيمومات
Organelles	مواد وراثية محبة (فيمر نووية)	Peteroff-Housser slide	شريحة بتروف - هاورر
genomes			

Petri dish	طبق بتري	Photoheterotrophs	أحياء غير ذاتية التغذية ضوئياً
Phaeophyta	الطحالب البنية	Photosensitizers	مواد متصصة للضوء
Phages	الفاجات (فيروسات الميكروبات)	Photosynthesis	تمثيل ضوئي
conversion	تحويل	Photosynthetic bacteria	ميكروبات مثلية للضوء
enumeration	كشف واظهار	Photosynthetic flagellates	سوطيات مثلية للضوء
genetic and molecular biology	وراثة وبيولوجيا جزيئية	Phototrophic	أحياء تمثل الطاقة الضوئية
ghosts	أشباح	Phycobilin	فيكوبيلين
Isolation	عزل	Phycocyanin	فيكوسيانين
Modification	تعديل	Phycomycetes	فطريات طحلبية
Mutants	طفرات	Phylogenetic classification	تقسيم تطوري (طبيعي)
One step growth curve	منحنى نمو ال خطوة (المرحلة) الواحدة	Phytomastigophora	سوطيات طحلبية
Repression and induction	كبح وحث	Pinocytosis	الشرب (في البروتوزوا)
Restriction	اقصاء	Plant viruses	الفيروسات النباتية
Temperate	معتدلة	Plasmic membrane	الغشاء البلازمي
Virulent	ضارة	Plasmids	البلازميدات
Phagocytosis	الابتلاع (الالتهام)	Plasmodium	بلازموديوم
Phagotrophic	أحياء تتناول غذائها بالابتلاع	Plasmolemma	غشاء البلازما
Phase contrast microscope	مجهر الأطوار المتباينة (التباين)	Poliomyelitis	مرض شلل الأطفال
Phenotypes	الصفات الظاهرية	Polyamines	عديدات الأمين
dominant	سائد	Polyacrylamid	بولي اكريلاميد
recessive	متنحية	Poly B hydroxy-butyric acid	بولي بيتا هيدروكسي حمض البيوتريك
Phenotypic classification	تقسيم بيئي على الصفات الظاهرية (اصطناعي)	Polycationic	عديد الكاتيونات
Phospholipids	فوسفوليبيدات	Polyhedral	عديد الأسطح
Photoautotrophes	أحياء ذاتية التغذية ضوئياً	Positive staining	المصبغ الموجب
		Positive strand	السلسلة الموجبة

Poured plates	الأطباق الصوية	Radiolaria	الشعاعيات
Precipitation	الترسب	Recipient	مستقبل
Predator	مفترس	Recombination	التبادل (الخلط) الوراثي
Pressure	الضغط	bacteria	في البكتيريا
Primary consumer	المستهلك الأول (الأساسي)	meiotic	في الانقسام الاختزالي
Primary producer	المنتج الأول (الأساسي)	mitotic	في الانقسام غير المباشر
Proactinomycetes	الأكثينوميستيس البدائية	virus	في الفيروسات
Procaryotes	بدائية النواة (البدائية)	Relatedness	القربا (الانتساب)
Progan	ذرية	Repair mechanism of dark reactivation	نظم الإصلاح التي تتم في الظلام (لا تحتاج ضوء)
Proplastids	بلاستيدات بدائية	Photoreactivation	نظم الإصلاح التي تحتاج للضوء مواد طاردة
Protein coat	غطاء بروتيني	Repellants	تضاعف
Proteins	البروتينات	Replication	مواد مخزنة
Protoplast	البروتوبلاست	Reserve material	عامل المقاومة
Prototroph (wild type)	سلالة برية (لا تحتاج لعوامل نمو)	Resistance factor	قوة التمييز
Protozoa	بروتوزوا	Resolving power	حمض الريبونيكليك (رنا)
Protozoology	علم البروتوزوا	Ribonucleic acid (RNA)	رنا مزدوج السلسلة
Proryphyta	الطحالب البيرية	Double stranded RNA	رنا مرسال (مRNA)
Pseudopodia	ذرات أقدام كاذبة	Massenger (mRNA)	رنا ريبوسومي (rRNA)
Pseudopods	أقدام كاذبة	Ribosomal RNA (rRNA)	رنا مفرد السلسلة
Psychrophilic	محبة للبرودة	Single stranded RNA (ssRNA)	رنا ذائب (مRNA)
Psychrotroph	تحمل البرودة	Soluble RNA (sRNA)	رنا ناقل (tRNA)
Pure culture	مرمرة نقية	Transfer RNA (tRNA)	تأثير الإشعاع
Pyrenoids	أجسام خاصة يتكون فيها النشا	Radiation effect	

Ribosomes	ريبوسومات	Slime layer	الطبقة الهلامية
Rhodophyta	الطحالب الحمراء	Slime mold	الفطريات اللزجة
Rhizoids	أشياء جذور	Smuts	التفحمت
Rhizopoda	ذوات الأقدام الكاذبة	Solid media	مستنبتات صلبة
Rod-shaped	شكل عصوي	Solidifying agents	مواد صلبة
Rolling circle model	نموذج الدائرة المتحركة	Somatic cells (الحدبة)	الخلايا الخضرية
Rusts	الأصداء	Species	نوع
S		Spindel	مفزل
Scalariform	سلمي	Spontaneous generation theory	نظرية التوالد الذاتي
Scanning electron microscope	المجهر الإلكتروني المساح	Sporangia	أكياس جرثومية اسبورانجية
Schizogony	التكاثر بالانشاق	Sporangiophore	حامل الأكياس الاسبورانجية
Schizomycetes	قسم الفطريات	Sporangiospore	جراثيم (أبواغ) اسبورانجية
Sea weeds	أعشاب البحر	Sporangium	كيس جرثومي اسبورانجي
Seitz filter	مرشح سيتر	Spores	أبواغ (جراثيم)
Selective media	مستنبتات انتخائية	Sporocyst	غلاف جرثومي
Selective toxicity	سمية اختيارية	Sporogony	التكاثر التزاوجي (الجرثومي)
Semisolid media	مستنبتات شبه صلبة	Sporophyte	طور (مرحلة) جرثومي
Septate	مقسم بجدر عرصية	Sporozoa	الجرثوميات (في البروتوزوا)
Serum	مصل	Spread plates	الفرد على الأطباق
Sex factor	عامل جنسي	Stage	مرح (في المجهر)
Sex pili	زائدة جنسية في البكتيريا	Staining	صبغ
Sheath	علاى	Star shaped	شكل النجمة
Simple diffusion	الانتشار البسيط	Starter (s)	بادي (مادئات)
Single cell proteins	بروتينات وحيدة الخلية	Stationary phase	طور السكون (الثبات) أو المرحلة الساكنة أو النائمة

Stenothermal	مدى ضيق من درجات	Thylakoids	النبات الداخلية لغشا' البلاستيدات
Sterilization	حرارة التمر تعقيم	Thymine (T)	ثيمين
Steroids	ستيرويدات	Thymine dimers	ازدواج الثيمين
Sterols	ستيرولات	Tissue culture	مزارع الأنسجة
Stigma (eye spot)	بقعة عينية	Tracking microscope	مجهر التتبع
Stolons	هياكل مدارة	Transcription	سخن (المعلومات الوراثية)
Strain	سلالة	Transduction	الحمل بالفاج
Strigma	أطراف مدية تحمل عليها الجراثيم النازية	Abortive	الاجهاض
Sulfa drugs	مركبات السلفا	Generalized	العام
Sulfanilamid	سلفانيلاميد	Specialized	الخاص
Sulfur granules	حببيات الكبريت	Transformation	نقل مباشر (المعلومات الوراثية)
Sulfur oxidizing bacteria	بكتيريا مؤكسدة للكبريت	Translation	ترجمة (المعلومات الوراثية)
Symbiosis	تكافل (تعاون)	Tube dilution method	طريقة التخفيف في أنابيب
Syphilis	مرض الزهري	Two membered culture	مزرعة الفردين (المزدوجة)
Synchronous growth	نمو الخلايا ذات العمر الواحد	Tyndallization	التعقيم بالمعاملات الحرارية
Systematics	دراسات تصنيفية		
T			
Taxonomic group	مجموعة تقسيمية	Ultra violet (UV) light	أشعة فوق بنفسجية
Taxonomy	علم التقسيم	Unicellular	وحيد الخلية
Temperate viruses	فيروسات معتدلة	Uninucleate	وحيد النواة
Terrestrial	أرضي	Unit membrane	وحدة الغشا'
Tetracyclines	تتراسيكلينات	Uracil (U)	يوراسيل
Thallophyta	الثالوسيات	Uridiospores	جراثيم (أبواغ) يوريدية
Thallus	الثالوس (الجسم الخصري)	Vaccine	لقاح (فاكسين)
Thermoduric	تحمل الحرارة المرتفعة	Vacuole	محوة
Thermophilic	محبة للحرارة المرتفعة		

Vegetative	خضري	W	نشاط الماء
Vertebrates	فيروسات الفقاريات	Water activity	بخار رطب
viruses		Wet steam	
Vestigial	بلاستيقة خالية من الكلوروفيل	x	
Viable count	عد الخلايا الحية	X-rays	الأشعة السينية
Vibrio	خلايا سحنية انحناء واحدة	Xylan	الزيلان
Virales	رتبة الفيروسات	y	
Virion	فيروس	Yeasts	خمائر
Viroid	فيرويد	Yellow fever	الحُمى الصفراء
Virology	علم الفيروسات		
Virulent phages	فاجات ضارية	z	
Viruses	فيروسات	Zoochlorellae	الكلوريللا الحيوانية
- Conversion	تحويل	Zoologists	المتخصصون في علم الحيوان
- Modification	تعديل	Zoomastigophora	الموطيات الحيوانية
- Restriction	اقصاء	Zoosporangium	أكياس الحراثيم الاسبورانجية (الحيوانية)
Visible light	أشعة مرئية	Zoospore	جرثومة حيوان سباحة
Volutin granules	حببيات فوليويتين	Zooxanthellae	الزانشيللا الحيوانية
		Zygospores	أبواغ (جراثيم) زيجية
		Zygote	لاقحة (زيجوت)

المراجع العربية:

(١) إبراهيم ، اسماعيل على ، وحسين العروسى وسمير ميخائيل
ومحمد على عبد الرحيم - ١٩٧٥ - أمراض النبات . دار المطبوعات
الجديدة بالاسكندرية . مصر .

(٢) أبو الذهب ، مصطفى كمال ، ومحمد عبد القادر الجعرانى
١٩٨٤ - البكتيريا (الجزء الأول) ، دار المعارف بالاسكندرية . مصر .

(٣) أبو الذهب ، مصطفى كمال ، ومحمد عبد القادر الجعرانى
١٩٧٦ - البكتيريا - طرق الدراسة العملية . دار المطبوعات الجديدة
بالاسكندرية . مصر .

(٤) أبو زنادة ، عبد العزيز حامد (١٩٨٣) . أساسيات
علم الكائنات الحية الدقيقة . عمادة شئون المكتبات - جامعة الملك
سعود - الرياض بالسعودية .

(٥) أبو زنادة ، عبد العزيز حامد ، ومحمد الجوهري محمود
١٩٨٠ - المجهر والبنىات الدقيقة - عمادة شئون المكتبات - جامعة
الرياض - الرياض - المملكة العربية السعودية .

(٦) البرجس ، محمد ١٩٨٥ . الهريس . مطابع دار القبس -
الكويت .

(٧) التكريتي ، سعدون وحامد حسن طنطاوى وفاروق خالد
حسن وفيلكس يوسف (١٩٨١) حمى وادى الرفت . وزارة الصحة العراقية
- بغداد .

(٨) الشيخلى ، جودت سامى ١٩٧٩ . التجارب المختبرية فى
ميكروبات الأغذية والألبان - مطبوعات جامعة الرياض - بالرياض بالملكة
العربية السعودية .

تابع : المراجع العربية :

- (٩) الصادق ، جمال الدين محمد ، وسعد على زكى محمود
١٩٦٢ . الميكروبيولوجيا التطبيقية العملية . دار الهنا بالقاهرة بمصر .
- (١٠) العروسى ، حسين ، عماد الدين وصفى ١٩٨١ . المملكة
النباتية . دار المطبوعات الجديدة بالاسكندرية . مصر .
- (١١) الكسندر ، مارتن ١٩٨٢ . مقدمة فى ميكروبيولوجيا التربة .
جون وايلى . نيويورك .
- (١٢) اللجنة الوطنية للتربية والثقافة والعلوم بوزارة المعارف
بالمملكة العربية السعودية ١٩٨٣ . المعجم الموحد للمصطلحات العلمية
فى مراحل التعليم العام .
- (١٣) الهرفى ، حرب عطا - ١٩٨٦ ، ايدز . دار تهامة
- جدة - المملكة العربية السعودية .
- (١٤) بعلبكي ، منير ١٩٨١ . قاموس المورد . دار العلم
للملايين - بيروت - لبنان .
- (١٥) بوين ، وليم ١٩٦٢ . علم الأحياء الدقيقة . مكتبة النهضة
المصرية بالقاهرة .
- (١٦) شلبى ، محمد عبد الحميد سليمان (١٩٨٣) الأمراض
الفيروسية المشتركة بين الانسان والحيوان وأثرها فى برامج التنمية والتكامل
بين البلاد العربية . مجلة البحث العلمى العربى - العدد الثانى
عشر - بغداد .
- (١٧) شومان ، محمد طلعت (١٩٧٧) : علم جراثيم الحيوان
(الجزء الثانى) الفيروسات واللقاحات . القسم العلمى - كلية الطب
البيطرى - جامعة حلب .

تابع : المراجع العربية :

(١٧) طرابلس ، ابراهيم يوسف ، وجودت سامى الشبخلى ١٩٧٩
الميكروبيولوجيا العلمية — عمادة شئون المكتبات — جامعة الرياض بالرياض
— المملكة العربية السعودية .

(١٩) عبد العزيز ، مصطفى : علم الفيروسات ١٩٧٩ . عمادة
شئون المكتبات . جامعة الملك سعود بالرياض . الرياض . المملكة العربية
السعودية .

(٢٠) عبد العزيز ، مصطفى ، وأحمد محمد مجاهد وأحمد الباز
يونس وعبد الرحمن أمين ١٩٧٩ — النبات العام . مكتبة الأنجلو المصرية
— القاهرة . مصر .

(٢١) فكرى ، محمد عزيز (١٩٦٠) . الفيروس . دار المعارف —
القاهرة .

(٢٢) فجلة ، جابر ، ابراهيم ، ومصطفى حلمى الحمادى وحامد
محمود فريد — ١٩٧٦ الفيروس وأمراض النبات الفيروسية . دار المطبوعات
الجديدة — اسكندرية — مصر .

(٢٣) محمود ، سعد على زكى ، وعصمت خالد علام (١٩٦٩) .
أمراض النبات البكتيرية والفيروسية . مكتبة الأنجلو المصرية — القاهرة
بمصر .

(٢٤) محمود ، عبد العزيز ، ومحمود عبد الرحمن البرعى وسمير
محمد حسن بلتاچى ، ومحمد نظيم شحاته ١٩٧٨ — اللافقاريات . مكتبة
الأنجلو المصرية . مصر .

REFERENCES

1. Ackerman, H.W.; Audurier, A.; Besthiam, L.; Jones, L.A.; Mayo, J.A.; Videver, A.K. (1978): Guidelines for bacteriophage characterization. *Adv. Virus Res.* 23: 1-24.
2. Alexopoulos, C.J. (1979): *Introductory mycology*. John Wiley and Sons.
3. Andrews, C. and H.G. Pereira (1972): *Viruses of vertebrates*. 3rd ed. Baltimore, Maryland, Williams and Wilkins, 1972.
4. Ayres, J.C.; J.O. Mundt and W.E. Sandine (1980): *Microbiology of Foods*. W.H. Freeman & Co. San Francisco, Ca, U.S.A.
5. Bablanian, R. Structural and functional alteration of cultured cells infected with cytotoxic viruses. *Prog. Med. Virol.* 19: 40.
6. Baron, S. (1979): The interferon system. *ASM news*, 45:358.
7. Bawden, F.C. (1954): Inhibitors and Plant Viruses. *Adv. Virus Res.* 2, 31.
8. Bawden, F.C. (1964): *Plant Viruses and Virus Diseases*, 4th edition, New York: Ronald Press Co.
9. Beemster, A.B.R. and Dijkstra, J. (eds.) (1966): *Viruses of Plants* Amsterdam: North Holland.
10. Bennett, C.W. (1967): Plant viruses: Transmission by Dodder. In Maramorosch and Koprowski. 1: 393.
11. Bennett, C.W. (1967): Epidemiology of Leafhopper-Transmitted Viruses. *Ann. Rev. Phytopath.* 5: 87.

12. Benett, C.W. (1969): Seed Transmission of Plant Viruses
Adv. Virus Res. 14: 263.
13. Beveridge, W.I.B. (1967): Epidemiology of virus diseases.
In Viral and rickettsial of animals Vol.1. Edited by A.O.
Betts and C.J. York; Academic Press, New York.
14. Benchat, L. (1979): Food and beverage mycology. AVI
Publ. Co., Westport, Conn., U.S.A.
15. Bold, H.C. and M.J. Wynne (1978): Introduction to the
algae. Prentice Hall, New Jersey, U.S.A.
16. Bos, L. (1967): Methods of Studying Plants as Virus Hosts.
Methods in Virology, 1: 129.
17. Bos, L. (1970): Symptoms of Virus Diseases in Plants.
2nd Edition, Wageningen: Pudoc.
18. Bos, L. (1970): Bean Common Mosaic Virus, C.M.I./A.A.B.
Description of Plant Viruses, No. 73.
19. Bos, L. (1976): Onion Yellow Dwarf Virus, C.M.I./ A.A.B.
Description of Plant Viruses, No. 158.
20. Brock, T. (1979): Biology of Microorganisms, 3rd ed.
Prentice Hall Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, U.S.A.
21. Brown, M.H. (1982): Meat microbiology. Applied Science
Publishers, London.
22. Buchanan, R.E. and N.E. Gibbons (1974): Bergy's manual
of determinative bacteriology. Williams and Wilkins
Co. Baltimore, U.S.A.
23. Buxton and Fraser (1977): Animal Microbiology Volume, 2
Rickettsias and Viruses., Blackwell Scientific Publications
Ltd.

24. Carter, G.R.; and Roberts, A.W. (1973): Outline of veterinary virology, 2nd ed. Columbia, Mo., Lucas Brothers Publishers, U.S.A.
25. Champe, S. (1974): Phage, Dowden, Hutchinson and Ross Inc. Stroudsburg, Pennsylvania, Philadelphia, U.S.A.
26. Chichester C.O. and H.D. Graham (1973): Microbial Safety of fishery products. Academic Press, New York.
27. Davis, D.D.; R. Dulbecco; H.N. Eisen and H.S. Ginsberg (1980): Microbiology, 3rd ed. Harber and Row Publishers. New York, U.S.A.
28. Esau, K. (1968): Viruses in plant Hosts: Form, Distribution, and Pathological Effects. The University of Wisconsin Press, Milwaukee, U.S.A.
29. Fenner, F. et al (1974): The biology of animal viruses, 2nd ed., Academic Press. New York, U.S.A.
30. Fenner, F.J., and White, D.O. (1976): Medical Virology, 2nd ed., Academic Press, New York, U.S.A.
31. Fields, M. (1979): Fundamentals of food microbiology. AVI Publ. Co. Westport, Conn., U.S.A.
32. Fox, J.P.; and Elveback, L.R. (1975): Hard Immunity and Immunopathology. Edited by A.L. Notbins., Academic Press, New York, U.S.A.
33. Fraenkel-Conrat, H. (1969): The Chemistry and Biology of Viruses. New York: Academic Press, U.S.A.
34. Fraenkel-Conrat, H. and P.R. Rueckert (1967): Analysis of Protein Constituents of Viruses. In Maramorosch and Koprowski, 3:1.

35. Fraenkel-Conrat, H. and Wagner, B.R. (1979): Comprehensive Virology. Vol.14, Plenum Press, New York, U.S.A.
36. Frazier, W.C. (1978): Food microbiology. McGraw Hill New York, N.Y., U.S.A.
37. Fritch, F.E. (1977): The structure and reproduction of the algae I & II. Cambridge University Press, London.
38. Frobisher, M.; R.D. Hinsdill; K.T. Crabtree and C.R. Goodheart (1974): Fundamentals of microbiology, W.B. Saunders Co., Philadelphia, Penn, U.S.A.
39. Fulton, R.W. (1966): Mechanical Transportation of Viruses of Woody Plants. Ann. Rev. Phytopath. 4:79.
40. George, E. Cottral (1978): Manual of Standardized methods for Veterinary Microbiology, Comstock, Publishing Associates, a division of Cornell University Press, Ithaca and London.
41. Gibbs, A.J. (1973): Viruses and Invertebrates, North Holland Publishing Comp. New York, U.S.A.
42. Gibbs, A.J. (1969): Plant Virus Classification, Adv. Virus Res. 14:263.
43. Gibbs, A.J. and B.D. Harrison (1968): Realistic Approach to Virus Classification and Nomenclature. Nature, 218:927, London.
44. Gibbs, A.J. and B.D. Harrison (1976): Plant Virology: The Principles. Edward Arnold Ltd., London.
45. Gillespie, J.H. and Timoney, J.F. (1981): Hagan and Bruner's Infectious Diseases of Domestic Animals. Cornell University Press.

46. Hall, C.E. (1974): Electron Microscopy: Principles and Application to Virus Research. In Corbett and Sisler, 1964, p.253.
47. Hamilton, R.I. (1974): Replication of Plant Viruses. Ann. Rev. Phytopath. 12:223.
48. Harris, K.F. and K. Maramorosch (1977): Aphids as Virus Vectors. Academic Press: New York.
49. Harrison, B.D. (1977): Ecology and Control of Viruses with Soil Inhabiting Vectors. Ann. Rev. Phytopath. 15:331.
50. Hayes, W. (1974): The genetics of bacteria and their viruses. 2nd ed. John Wiley and Sons, New York, U.S.A.
51. Heinrich, M.R. (1976): Extreme environments. Academic Press, New York.
52. Hershey, A.D. and M. Chase (1952): Independent Functions of Viral Protein and Nucleic acid in growth of Bacteriophage. J. Gen. Physiol. 36: 39-56.
53. Hewitt, W.B., G. Martelli, H.F. Dias, and R.H. Taylor (1970): Grapevine Fanleaf Virus. C.M.I./A.A.B. Description of Plant Viruses, No. 87.
54. Hobbs, B.C. and J.H.B. Christian (1973): The Microbiological Safety of Food. Academic Press, New York.
55. Hofstad, M.S., et al. (1978): Diseases of Poultry, 7th ed. Ames, Iowa State University Press, U.S.A.
56. Hollings, M. (1965): Disease Control Through Virus-Free Stock. Ann. Rev. Phytopath. 3:367.

57. Holmes, F.O. (1964): Symptomatology of Viral Diseases in Plants. In Corbett and Sisler, p.17.
58. Holmes, F.O. (1965): Genetics of Pathogenicity in Viruses and of Resistance in Host Plants. Adv. Virus. Res. 111-139.
59. Holmes, F.O. (1968): Trends in the Development of Plant Virology. Ann. Rev. Phytopath. 6:41.
60. International Commission on Microbiological specification for foods of the international association of microbiological societies (ICMSF) 1975. Microorganisms in Foods Vol. 1 & 2. University of Toronto Press, Toronto, Canada.
61. Kado, C.I. and H.O. Agrawal. (eds). (1972): Principles and Techniques in Plant Virology. New York: Van Nostrand Reinhold Co.
62. Knight, C.A. (1974): Molecular Virology. McGraw-Hill New York.
63. Lennette, E.H.; and Schmidt, N.J. (1979): Diagnostic Procedures for Viral, Rickettsial and Chlamydial infectious. 5th ed. Washington, D.C. American Public Health Association.
64. Levy, J.; J.J.R. Campbell; and T.H. Blackburn (1973): Introductory microbiology. John Wiley and Sons. New York.
65. Lodder, J. (1970): The yeasts, a taxonomic study. North Holland Publish Co., Amsterdam, Holland.
66. Longberg-Holm, K.I. and Phillipson, L. (1974): Early interaction between animal viruses and cells. Monog. Virol. 9:1.
67. Luria, S.E. et al (1978): General Virology, John Wiley and Sons.

68. Mathews, R.E.F. (1982): Classification and nomenclature of viruses. Fourth report of the international committee on taxonomy of viruses. Intervirology 17: 27-39.
69. Mathews R.E.F. (1970): Plant Virology. Academic Press, New York.
70. Mathews, R.E.F. (1973): Induction of Disease by Viruses. with special reference to Turnip Yellow Mosaic Virus. Ann. Rev. Phytopath. 11: 147.
71. Mayr, A. (1981): New emerging viral zoonoses, Behring Institut, Mitt. No. 69, 57-64.
72. McKercher, D.G. (1977): T-Bovin reproductive diseases. In Bettsville Symposia in Agriculture. I. Virology in Agriculture. Edited by Romberger. Montclair, N.J.; Allenheld Osmum & Co. U.S.A.
73. Mckinney, H.H. and G. Silber (1968): Methods of Preservation and Storage of Plant Viruses. In Maramorosch and Koprowski, 2:491.
74. Merchant, I.A. and R.A. Packer (1967): Veterinary bacteriology and virology. Iowa State University Press, Ames, Iowa, U.S.A.
75. Mitchell, R. (1974): Introduction to environmental microbiology. Prentice Hall, London.
76. Mohanty, S.B. and Dutta, S.K. (1981): Veterinary Virology. Lea and Febiger Publish Co. Philadelphia.
77. Nnochiri, E. (1975): Medical microbiology in the tropics. Oxford University Press.
78. Pelczar, M.J., R. Reid and E.C.S. Chan (1977): Microbiology McGraw-Hill Co. New York.

79. **Peppler, H.J. and D. Perlman (1979): Microbiol Technology I & II Academic Press.**
80. **Phaff, H.J.; M.W. Miller and E.M. Mrak (1978): The life of yeasts. Harvard University Press, Cambridge Massachusetts, U.S.A.**
81. **Price, W.C. (1970): Citrus Tristeza Virus, C.M.I./A.A.B. Description of Plant Viruses, No. 33.**
82. **Rhodes, M.E. (1979): Food Mycology, G.K. Hall & Co. Boston, Massachusetts, U.S.A.**
83. **Roberts, D.A. (1964): Local Lesion Assay of Plant Viruses. In Corbett and Sisler, 1964, p.194.**
84. **Scott, F.W. (1983): Veterinary Virology, New York State College of Veterinary Medicine, Cornell University. N.Y., U.S.A.**
85. **Skinner, F.A. and J.G. Carr (1976): Microbiology in agriculture, Fisheries and Food. Academic Press, London.**
86. **Skinner, F.A. and J.G. Carr (1974): The normal microbial flora of man. Academic press.**
87. **Smith, K.M. (1977): Plant Viruses. Chapman and Hall, London.**
88. **Stainer, R.; E.A. Adelberg; and John Ingraham (1976): The microbial world. 4th ed. Prentice-Hall Inc. Englewood Cliffs, New Jersey, U.S.A.**
89. **Stevenson, G.B. (1970): The biology of fungi, bacteria and viruses. American Elsevier Publish. Co. N.Y.**
90. **Webster, John (1980): Introduction to Fungi Cambridge University Press, London.**

91. Wiese, M.V. (1977): Compendium of wheat diseases. The American Phytopathological Society, St. Paul, Minn, U.S.A.
92. Wolfgang, K. Joklik (1980): Principles of Animal Virology, Appleton-Century-Corfts/New York. U.S.A.
93. WHO Report of Expert Committee with the participation of FAO: Bacterial and Viral Zoonoses (1982): World Health Organization, Geneva.
94. Yamada, K.; S. Kinoshita; T. Tsunonda and K. Aida (1972): The microbial production of amino acids, John Wiley and Sons, New York.

المحتويات

الباب الأول

صفحة

تطور علم الأحياء الدقيقة وأهميته وطرق دراسته

الفصل الأول : علم الأحياء الدقيقة وتطوره	١١
— نظرية التوالد الذاتي	١٤
— النظرية الميكروبية	١٩
— أقسام الأحياء الدقيقة	٢٤
— الخواص العامة للأنظمة الحيوية	٢٤
— التقسيم المبدئي للكائنات الحية	٢٦
الفصل الثاني : أهمية دراسة الأحياء الدقيقة :	٣٥
أولا : اكمال دورات العناصر المختلفة في الطبيعة	٣٦
— دورة الفوسفور	٣٩
— دورة الكربون والأكسجين	٤١
— دورة النيتروجين	٤٤
— دورة الكبريت	٥١
ثانيا : خصوبة التربة	٥٥
ثالثا : تكوين الوقود الحفري	٥٦
رابعا : التخلص من فضلات المجاري وفضلات المصانع	٥٧
خامسا : التخلص من فضلات البترول والهيدروكربونات	٥٩
سادسا : الاستفادة من الفضلات الزراعية وفضلات القمامة	٦١
سابعاً : الصناعات الغذائية وتلف الأغذية	٦٢
ثامنا : الصناعات الكيميائية والدوائية	٧٤
تاسعا : انتاج البيروتيينات وحيدة الخلية وانتاج البادئات	٩٢
عاشرا : مكافحة الآفات الزراعية	٩٦

٩٨	.....	حادي عشر : انتاج اليااف الأنسجة
٩٨	.....	ثاني عشر : معاونة الأحياء الأخرى
١٠٣	.....	ثالث عشر : تطوير معارف الانسان
١٠٥	.....	رابع عشر : احداث الأمراض
١٤٧	.....	الفصل الثالث : طرق دراسة الأحياء الدقيقة :
١٤٧	.....	- <u>العزل والتزريع :</u>
١٤٨	.....	طرق الحصول على مزارع الأحياء الدقيقة .
١٤٩	.....	- باستخدام المستنبتات الصلبة .
١٥٣	.....	- باستخدام المستنبتات السائلة .
١٥٥	.....	- بالطرق المجهرية .
١٥٦	.....	- مزارع الفردين .
١٥٦	.....	- <u>التعقيم بين النظرية والتطبيق :</u>
١٥٩	.....	الطرق الطبيعية للتعقيم .
١٥٩	.....	- التعقيم بالحرارة الجافة .
١٥٩	.....	- التعقيم بالحرارة الرطبة .
١٦١	.....	- التعقيم بالمعاملات الحرارية المتقطعة .
١٦٢	.....	- التعقيم بالأشعاعات .
١٧٠	.....	الطرق الكيميائية للتعقيم .
١٧٢	.....	الطرق الميكانيكية للتعقيم .
١٨٠	.....	<u>أساسيات تغذية الأحياء الدقيقة :</u>
١٨٢	.....	- احتياجات الكربون .
١٨٥	.....	- احتياجات النيتروجين والكبريت .
١٨٦	.....	- عوامل النمو .
١٨٨	.....	- دور الأكسجين في التغذية .
١٨٩	.....	- اقسام الأحياء الدقيقة وفقا لاحتياجاتها من الكربون والطاقة

صفحة	
١٩٢	— تكوين مستنبتات الزرع .
١٩٤	— تقسيم مستنبتات الزرع .
١٩٨	— المواد التصليبية الشائعة الاستعمال
٢٠٣	<u>المجاهر</u> :
٢٠٣	— المجهر الضوئي
٢١٠	— مجهر الأشعة فوق البنفسجية
٢١٠	— المجهر الفلورسنتي
٢١١	— مجهر التباين (الأطوار المتباينة)
٢١٣	— مجهر الحقل المظلم
٢١٣	— المجهر الالكتروني النفاذ
٢٢٢	— مقارنة بين المجهر الضوئي والمجهر الالكتروني
٢٢٤	— المجهر الالكتروني المساح

الباب الثاني

الأحياء الدقيقة حقيقية النواة

الفصل الرابع : الصفات العامة للأحياء الدقيقة حقيقية النواة	
٢٢٩	(البروتستا)
٢٣١	أولا : وحدة الغشاء .
٢٣٤	ثانيا : الشبكة الاندوبلازمية .
٢٣٥	ثالثا : أجسام جولجى .
٢٣٥	رابعا : انظمة التمثيل الضوئي وتوليد الطاقة .
٢٣٨	خامسا : المواد الوراثية .
٢٣٨	١- المواد الوراثية النووية .
٢٤٦	٢- المواد الوراثية العضية (غير النووية) .
٢٤٧	سادسا : نظام الأنابيب الدقيق .
٢٤٨	سابعا : أجهزة تنظيم الضغط الأسموزي .

صفحة	
٢٥٠	ثامنا : الحركة السيتوبلازمية :
٢٥٢	الوضع التقسيمي للأحياء الدقيقة حقيقية النواة
٢٥٣	الفصل الخامس: الطحالب:
٢٥٤	— الشكل الظاهري
٢٥٦	— الحركة
٢٥٦	— الجدار الخلوي
٢٥٧	— التغذية
٢٥٨	— مجموعات الطحالب
٢٥٨	أولا : الطحالب الخضراء
٢٧٠	ثانيا : الطحالب اليوجلينية
٢٧٣	ثالثا : الطحالب البيرية
٢٧٤	رابعا : الطحالب الذهبية والدياتومات
٢٧٦	خامسا : الطحالب البنية
٢٧٦	سادسا : الطحالب الحمراء
٢٧٦	— الوضع التقسيمي للطحالب عديدة اللون
٢٧٩	الفصل السادس: البروتوزوا:
٢٧٩	تعريف البروتوزوا وأقسامها
٢٨١	أولا : قسم السوطيات
٢٨٣	التريبانوسوما
٢٨٤	ثانيا : قسم ذوات الأقدام الكاذبة
٢٨٤	— رتبة أنبوية الأقدام الكاذبة
	— الأميبا — انتاميبا اللثة — أنتاميبا الدوسنتاريا — الأرسلا .
٢٩٠	— رتبة خيطية الأقدام الكاذبة
٢٩٠	— رتبة المثقيات

صفحة

٢٩٢	— رتبة الشمسيات
٢٩٣	— رتبة الشعاعيات
٢٩٤	ثالثا : قسم الجرثوميات
٢٩٤	البلازموديم
٢٩٧	رابعا : قسم الهدبيات
٢٩٧	البراميسيوم
٣٠٥	الفصل السابع : الفطريات :
٣٠٦	الصفات العامة للفطريات
٣٠٩	تقسيم الفطريات
٣٠٩	اولا : الفطريات الدنيئة
٣١٠	— الفطريات الطحلبية المائية
٣١١	— الفطريات الطحلبية الأرضية
٣١٤	ثانيا : الفطريات الراقية
٣١٦	— الفطريات الاسكية
٣١٨	— الفطريات البازيدية
٣٢٠	ثالثا : الفطريات الناقصة
٣٢٢	الخمائر
٣٢٤	الفطريات اللزجة

الباب الثالث

الأحياء الدقيقة بدائية النواة : (البكتيريا)

٣٣١	الفصل الثامن : الشكل الظاهري للأحياء الدقيقة بدائية النواة
٣٣٢	— انتشار البكتيريا
٣٣٣	— دراسة الشكل الظاهري للبكتيريا

صفحة

٣٣٣	أ - حجم البكتيريا
٣٣٩	ب - شكل البكتيريا
٣٣٩	أولا : الشكل الكروي
٣٤٢	ثانيا : الشكل المعصوي المستقيم
٣٤٧	ثالثا : الشكل المعصوي المنحني
٣٤٧	رابعا : البكتيريا الخيطية
٣٥٣	خامسا : البكتيريا المتبرعمة
٣٥٣	سادسا : البكتيريا النجمية
٣٥٦	سابعا : البكتيريا غير منتظمة الشكل
٣٥٨	ج - الصبغ كصفة ظاهرية
٣٥٩	أولا : صبغ خلايا البكتيريا نفسها
٣٦١	ثانيا : الصبغ السالب للبكتيريا
٣٦٢	د - صفات المستعمرات كصفة ظاهرية
٣٦٥	الفصل التاسع : التركيب التشريحي والوظيفي لخلية البكتيريا
٣٦٧	أولا : المكونات الأساسية
٣٦٧	١ - الغشاء الخلوي والأغشية الداخلية والميسوسومات
٣٧٣	٢ - البروتوبلازم ومحتوياته
٣٧٣	أ - الريبوسومات
٣٧٦	ب - النواة
٣٧٩	ثانيا : المكونات غير الأساسية
٣٧٩	١ - الجدار الخلوي وتركيبه وخواص الصبغ للبكتيريا
٣٩٥	- تكوين البروتوبلاست والبلزمة وانفجار الخلايا
٣٩٦	٢ - الكبسولة والطبقة الهلامية
٣٩٧	٣ - التركيبات الأخرى التي توجد على سطح الخلية
٣٩٧	أ - الأسواط ونموها والاستجابة الحركية للمؤثرات المختلفة

صفحة

- ب - الزوائد العادية والزوائد الجنسية { ١١
٤ - الجراثيم (الأبواغ) الداخلية البكتيرية { ١٢
٥ - البلازميدات { ١٦
٦ - الفجيووات الغازية { ٢٤
٧ - الأجسام والمواد المخزنة { ٢٧
أ - المواد المخزنة العضوية غير النيتروجينية { ٢٧
ب - المواد المخزنة العضوية النيتروجينية { ٣٠
ج - حبيبات الفوليوتين { ١١
د - حبيبات الكبريت { ٣٢
هـ - أجسام أخرى

الفصل العاشر : تقسيم الأحياء الدقيقة بدائية النواة { ٣٩

- ✓ - التقسيم الطبيعي (التطوري) للبكتيريا { ٣٩
- التقسيم الاصطناعي للبكتيريا { ٤١
- التقسيم العددي للبكتيريا { ٤١
- التقسيم على أساس التشابه في الأحماض النووية { ٤٣
- مفهوم النوع في التقسيم { ٤٦
- ملكة ذوات النواة البدائية { ٤٧
القبيلة الأولى : السيانونبكتيريا { ٤٧
- تركيب السيانونبكتيريا { ٤٨
- فسيولوجيا السيانونبكتيريا { ٥١
القبيلة الثانية : البكتيريا { ٥٣
- أجناس البكتيريا { ٥٤

الباب الرابع

النمو والتكاثر في الأحياء الدقيقة الخلوية وكيفية التحكم فيه

- الفصل الحادي عشر : نمو وتكاثر الأحياء الدقيقة الخلوية ٤٦١
- أولا : نمو وتكاثر الخلايا المنفردة ٤٦٢
- امتصاص الغذاء ٤٦٢
- دخول العناصر الغذائية الى الخلية ٤٦٣
- ١— الانتشار الانسيابي أو البسيط ٤٦٣
- ٢— الانتشار المدعم ٤٦٤
- ٣— النقل النشط ٤٦٥
- ٤— بروتينات الارتباط ٤٦٧
- ٥— النقل المصحوب بالتغيير الكيميائي ٤٦٨
- تأثير المواد الذائبة على النمو والنشاط الأيضي
للأحياء الدقيقة ٤٧٠
- تكوين وافراز الانزيمات ٤٧٢
- الانزيمات البيريللازمية ٤٧٣
- الانزيمات خارج الخلية المرتبطة بالغشاء الخلوي ٤٧٦
- انقسام الكروموسوم لتكوين نسخة طبق الأصل ٤٧٧
- نسبة القواعد النيتروجينية في الأحماض النووية د ن أ ٤٨١
- تهجين الأحماض النووية وتماثلها ٤٨٣
- نمو الغشاء الخلوي والجدار الخلوي ٤٨٦
- ثانيا : نمو المجتمعات ٤٨٩
- طرق قياس نمو الكائنات الدقيقة ٤٩٣
- ١— العد المجهرى المباشر ٤٩٣
- ٢— عدد الخلايا الحية ٤٩٥
- أ. طريقة الفرد على الأطباق ٤٩٥
- ب. طريقة صب الأطباق ٤٩٦

صفحة	
٤٩٧	ج. طريقة العدد الأكثر احتمالا
٤٩٩	٣- تقدير اللبلة الميكروبية
	٤- عد البكتيريا التي تمر خلال ثقب صغير باستعمال التيار الكهربائي
٥٠١	٥- تقدير النمو عن طريق تقدير أيا من مكونات الخلية
٥٠٢	— دورة النمو في المجتمعات الميكروبية
٥٠٣	١- المرحلة التمهيدية
٥٠٣	٢- المرحلة اللوغاريتمية
٥٠٤	٣- المرحلة الساكنة
٥٠٥	٤- مرحلة الموت
٥٠٥	— كفاءة النمو
٥٠٨	— نمو الخلايا ذات العمر الواحد
٥١٠	— الزرع المستمر للأحياء الدقيقة

الفصل الثاني عشر : العوامل التي تؤثر على نمو ونشاط الكائنات

٥١٣	الدقيقة وأهميتها :
٥١٣	أولا : درجة الحرارة
٥٢٠	— البيئات الطبيعية الباردة
٥٢١	— التأثير الحافظ للتجميد
٥٢٢	— استخدام التجميد لحفظ المزارع الميكروبية
٥٢٣	— البيئات الطبيعية ذات درجات الحرارة المرتفعة
٥٢٦	— قتل الأحياء الدقيقة بالحرارة
٥٣٠	— البسترة والتعقيم
٥٣١	ثانيا : الماء ونشاط الماء
٥٣٣	— نشاط الماء وتأثيره على نمو الأحياء الدقيقة :
٥٣٦	— الأهمية البيئية لنشاط الماء
٥٣٧	— البيئات الطبيعية ذات التركيز المرتفع من الملح

صفحة	
٥٣٩	ثالثا : الضغط .
٥٤٠	رابعا : الحموض ودرجة تركيز أيون الأيدروجين .
٥٤٣	خامسا : الأكسجين .
٥٤٦	سادسا : الاشعاع .
٥٤٧	سابعا : العوامل الكيميائية .
٥٤٨	— المواد المضادة لنشاط ونمو الأحياء الدقيقة .
٥٥٢	— طريقة تقدير المواد الضارة للأحياء الدقيقة .
٥٥٥	— المضادات الحيوية .
٥٥٦	— مبيدات الأحياء الدقيقة .
٥٥٧	— شبيهات عوامل النمو .

الباب الخامس

علم الفيروسات العام

٥٦٣	الفصل الثالث عشر : مقدمة لعلم الفيروسات :
٥٦٣	أولا : تعريف علم الفيروسات .
	ثانيا : أهم الصفات التي تميز الفيروسات عن الأحياء
٥٦٤	الأخرى .
٥٦٦	ثالثا : نبذة تاريخية .
٥٦٦	— الأمراض الفيروسية .
٥٦٨	— طبيعة الفيروسات .
٥٧٢	— علاقة الفيروسات بالأحياء الأخرى .
٥٧٤	رابعا : أصل ونشأة الفيروسات .
٥٧٥	خامسا : الموائل الفيروسية ومدى تخصص الفيروسات .
٥٧٦	سادسا : أهمية دراسة علم الفيروسات .
٥٨١	سابعا : الصفات العامة للفيروسات .
٥٩٠	ثامنا : تنقية الفيروسات وطرق دراستها .
٥٩٦	تاسعا : الفيرويدات .

صفحة

الفصل الرابع عشر : التركيب الكيميائي للفيروسات :	٥٩٩
أولا : الأحماض النووية	٦٠٠
— مكونات الأحماض النووية	٦٠٠
— أنواع الأحماض النووية	٦٠٧
١— الحمض النووي دن أ المزدوج السلسلة	٦٠٧
والأحادي السلسلة .	
٢— الحمض رن أ	٦١٠
أ— رن أ حامل شفرة أو مرسال	٦١٠
ب— رن أ ناقل أو ذائب	٦١٠
ج— رن أ ريبيوسومي	٦١١
د— رن أ فيروسي	٦١٢
— أهمية الأحماض النووية	٦١٢
— خواص الأحماض النووية الفيروسية	٦١٦
١— الحمض النووي لفيروسات دن أ مزدوج السلسلة	٦١٦
٢— الحمض النووي لفيروسات دن أ أحادي السلسلة	٦١٩
٣— الحمض النووي لفيروسات رن أ مزدوج السلسلة	٦١٩
٤— الحمض النووي لفيروسات رن أ أحادي السلسلة	٦٢١
أ— الفيروسات التي تحتوي على السلسلة الموجبة	٦٢١
ب— الفيروسات التي تحتوي على السلسلة السالبة	٦٢٣
٥— الأحماض النووية الفيروسية المعيبة	٦٢٤
ثانيا : الغطاء البروتيني	٦٢٥
— أقسام الفيروسات وفقا لنظام ترتيب البروتينات	٦٣٠
١— الفيروسات (الحلزونية) ذات التركيب الحلزوني	٦٣٠
٢— الفيروسات متعددة الأوجه	٦٣٢
أ— أنواع المحاور الدورانية	٦٣٦
ب— بعض الاختلافات في تركيب الغطاء البروتيني	
عديد الأوجه	٦٣٧

صفحة

٦٣٧	٣- الفيروسات ذات التركيب المزدوج
٦٣٧	ثالثا : الغلاف
٦٣٧	— بروتينات الغلاف
٦٣٨	١- الجليكوبروتين
٦٣٨	٢- البروتين الشبكي
٦٣٩	— دهون الغلاف
٦٤٠	رابعا : المكونات الأخرى للفيروسات
٦٤٣	الفصل الخامس عشر : تقسيم وتسمية الفيروسات
٦٤٣	أولا : تقسيم الفيروسات
٦٥٦	ثانيا : تسمية الفيروسات

الباب السادس

الفيروسات البكتيرية (الفاج)

٦٦٩	الفصل السادس عشر : الفيروسات البكتيرية (الضارية)
٦٧٠	— أهمية دراسة الفاجات
٦٧٠	— الخواص العامة للفاجات
٦٧١	— أقسام الفاجات الرئيسية
٦٧١	١- الفاجات الضارية
٦٧٣	٢- الفاجات المعتدلة
٦٧٥	— كشف واظهار الفاج
٦٧٦	— عزل وتنقية الفاج
٦٧٨	— تركيب فاجات تنى ذات الأرقام المزدوجة وعلاقتها بتركيب الفاجات الأخرى
٦٧٩	— منحنى تضاعف الخطوة الواحدة
٦٨٢	١- دورة تضاعف الفاج الحلقي مزدوج السلسلة المحتوي على حمض دنا
٦٨٢	أولا : إصابة الخلية العائل بالفاج

صفحة

٦٨٢	أ- امتزاز الفيرون على سطح الخلية	
٦٨٥	ب- انفصال الحمض النووي عن المحفظة وحقنه ..	
	في الخلية المائل .	
٦٨٨	ثانيا : تكوين البروتينات المبكرة	
٦٨٩	أ- البروتينات المبكرة الفورية	
٦٨٩	ب- البروتينات المبكرة المؤجلة	
٦٩٠	ثالثا : تضاعف الحمض النووي الفيروسي	
٦٩٢	رابعا : تجميع جسيمات فيروسية جديدة	
٦٩٣	خامسا : تحرر الفيرونات الجديدة	
	ظاهرة الاقصاء وظاهرة التعديل في الفاجات ذات دن أ	
٦٩٤	حلقى مزدوج السلسلة	
	دورة تضاعف الفاجات المحتوية على الحمض النووي دن أ حلقى	٢-
٦٩٦	مفرد السلسلة	
	مراحل تضاعف الفاجات المحتوية على الحمض النووي دن أ	
٦٩٧	حلقى مفرد السلسلة	
٦٩٨	أولا : إصابة الخلايا المائل	
٧٠٠	ثانيا : تضاعف الحمض النووي دن أ الفيروسي	
	أ- تكوين السلسلة المكمل لتكوين R.F الأيوي	
٧٠٠	المزدوج السلسلة	
	ب- تضاعف RF الأيوي مزدوج السلسلة لتكوين	
٧٠٠	RF البنيوي	
	ج- تكوين السلسلة المفردة من الحمض النووي	
٧٠٢	البنيوي مزدوج السلسلة	
٧٠٢	ثالثا : اكتمال تكوين الفيروسات وتحررها	
٧٠٣	تضاعف الفاجات المحتوية على دهون	٣-
٧٠٤	تضاعف الفاجات المحتوية على الحمض النووي ر ن أ	٤-
٧٠٦	تكوين النسخ المتضاعف RF	
٧٠٦	تكوين المتضاعف الوسطية RI	

صفحة	
٧٠٧	النظام الأول : النظام شبه المحافظ
٧٠٧	النظام الثاني : النظام المحافظ
	الفصل السابع عشر : الفيروسات البكتيرية المعتدلة واكساب البكتيريا
٧٠٩	القدرة الكامنة على التحلل :
	— العوامل التي تحدد اتجاه الفاج المعتدل فـى
٧١٠	الخلايا المصابة
	— العمليات التي تتم فى الخلايا عند اصابتها بأحد
٧١١	الفاجات المعتدلة
	أولا : اكساب الخلايا القدرة الكامنة على التحلل من
٧١٢	نوع لا مدا
	ثانيا : اكساب الخلايا القدرة الكامنة على التحلل من
٧١٦	نوع بى ١
٧١٧	— كمن الفاج وحشه
٧١٨	— المناعة

الباب السابع

وراثة الأحياء الدقيقة وبيولوجيتها الجزيئية

٧٢٣	الفصل الثامن عشر : وراثة الفاجات والبيولوجيا الجزيئية
٧٢٣	— المورث (حامل الصفات الوراثية)
٧٢٤	— الطفرة
٧٢٥	— الخلط الوراثى فى الفيروسات
٧٢٨	— أحداث الطفرات Mutagensis
٧٣٠	— التطفر Mutation
٧٣١	— الأساس الكيميائى للتطفر
٧٣٠	— استبدال زوج من القواعد والمواد التي تحدثها
٧٣٠	١— الاستبدال بزوج مماثل Transition ..
٧٣٢	٢— الاستبدال بزوج مخالف Transversion ..
٧٣٤	٣— المطفرات التي تحدث طفرات النقطة

صفحة	
٧٣٧	ب - تحريف موقع الشفرة والمطفرات التي تحدثها
٧٤٠	ج - ازالة جزء كبير من المادة الوراثية
٧٤١	* الطفرات في الطور الخارجى والطور الداخلى للفاج
٧٤١	أ - الطور الخارجى (الفيريونات) للفاج
٧٤١	ب - الطور الداخلى للفاج
٧٤٥	* انواع الطفرات فى الفاج
٧٤٨	- الديناميكية الوراثية للفيروسات
٧٥٠	- نقل الصفات الوراثية بالحمل بالفاج
	* ميكانيكية حدوث النقل بالحمل الخاص للصفات الوراثية
٧٥٣	للفاج
٧٥٦	* الحمل الخاص للصفات الوراثية بكفاءة عالية
	* ميكانيكية حدوث النقل بالحمل العام للصفات الوراثية
٧٥٧	بالفاج
	* اندماج المادة الوراثية الأجنبية مع المادة الوراثية
٧٦٠	الأصلية (الداخلية)
٧٦١	* النقل بالحمل الاجهاضى للصفات الوراثية
٧٦٤	- التحويل الفاجى
	- العلاقة التطورية بين البلازميدات والفيروسات والكروموسومات
٧٦٥	البكتيرية
	الفصل التاسع عشر: وراثة الأحياء الدقيقة بدائية النواة
٧٦٩	وببيولوجيتها الجزيئية
	- ميكانيكية التبادل الوراثى فى الأحياء الدقيقة
٧٦٩	بدائية النواة
٧٧٢	أولا : النقل المباشر
٧٧٩	ثانيا : التزاوج البكتيري
٧٨٢	- انتقال المادة الوراثية من خلايا Hfr
٧٨٥	- أصل خلايا F ⁺ وسلوكها فى التزاوج
٧٨٧	ثالثا : الحمل بالفاج

صفحة

الفصل العشرون : وراثـة الأحياء الدقيقة حقيقة النواء وبيولوجيتها ٧٨٩
الجزئية.....

٧٨٩ — التبادل الوراثي في الأحياء الدقيقة حقيقة النواء .

٧٨٩ أولاً : التبادل الوراثي أثناء الانقسام الاختزالي .

٧٩١ — تحول المورث.....

٧٩٢ ثانيا : التبادل الوراثي أثناء الانقسام غير المباشر

— التزاوج بين الأفراد ذات العوامل الوراثية

المختلفة والتزاوج بين أفراد نفس الجنس

٧٩٤ في الفطريات.....

٧٩٤ — التبادل الوراثي في مواد غير نووية.....

٧٩٧ ثبت الاصطلاحات العلمية

٨١٣ المراجع

رقم الايداع بدار الكتب

١٩٨٦/٥٦٠١



عن المؤلف

وكتود / حمزة محمد محمد السيد النخال

هو مواليد القاهرة عام ١٩٤٢ م ، حصل على درجة البكالوريوس
العلوم الزراعية من جامعة عين شمس في مجال علوم الأغذية .
م حصل على درجة الماجستير من نفس الجامعة عام ١٩٦٩ م .
م حصل على درجة الدكتوراه في الفلسفة من جامعة كاليفورنيا
ديفيس عام ١٩٧٥ م في مجال علم الأحياء الدقيقة
م بعد من شركات الأغذية بمصر والولايات المتحدة -
ميركية ، كما عمل بالمركز القومي للبحوث بمصر
معد في تدريس في جامعات عين شمس بمصر وكاليفورنيا
ولايات المتحدة والملك فيصل بالسعودية
عين أستاذ مساعدًا فأستاذًا مشاركًا بجامعة الملك فيصل
بمسقط رأسه بالملكة العربية السعودية ، حيث قام بتدريس عدد
من المقررات في مجال علوم الأحياء الدقيقة وعلوم الأغذية
شارك وساقهم ورأس عدة لجان في مؤتمرات علمية في مصر
الولايات المتحدة والسعودية ، وله العديد من الأبحاث
نشرت في المجلات العلمية المحلية والدولية

MICROBICLOG

HAMZA EL-NAKHA

B.Sc. & M.Sc. in Food Science from

University of Alexandria, Egypt

Ph.D. in Microbiology from Univer-

sity of California, Davis, U.S.A.

1987